

글로벌 센서 네트워크 플랫폼 구현

한국정보통신대학교 | 김대영* · 이종욱 · 김은조** · 강지훈 · 홍성민 · 정우영

1. 서론

USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술은 오늘날 정보통신 분야에서 가장 주목받는 선도 기술 중 하나로 언젠, 어디서나 편리하게 정보와 연결되는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경 실현을 위한 핵심기술로 제시되고 있다. 이러한 USN 기술은 환경 모니터링에서부터 텔레메틱스, 헬스케어, 국방 등에 이르기까지 다양한 응용에 활용 가능하며 국내외적으로 활발한 연구가 진행되고 있는 분야이다. 센서 네트워크의 핵심 기술인 플랫폼 연구 관련하여서는 UC Berkely에서 개발한 이벤트 기반의 운영체제인 TinyOS, 런타임시 수정이 필요한 모듈의 업데이트가 가능한 UCLA의 SOS, 주변 환경에 맞추어 자동적으로 학습하고 재설정과 업그레이드를 통해 주위 환경에 최적으로 적응할 수 있는 진화 능력 (evolvability)의 특징을 가지는 ICU의 ANTS(An evolvable Network of Tiny Sensors), ETRI의 NanoQplus 등이 개발 되고 있다.

정보통신부에 따르면 RFID/USN 시장이 2010년에는 약 540억 달러까지의 성장을 예측하고 있다. 이처럼, 센서 네트워크는 현재의 인터넷이 보급된 것 처럼 다양한 응용을 바탕으로 매우 빠르게 확산될 것이며, 규모 또한 글로벌한 네트워크로 확대될 것으로 예상된다. 하지만 상기 기술한 기존의 기술 개발은 글로벌한 통합을 고려하지 않고 연구되어 왔기 때문에 다양한 응용의 융합 요구사항을 만족시키지 못하고 있다. 따라서 서로 다른 각각의 센서 네트워크를 통합적으로 관리하고 다양한 기술을 수용할 수 있는 글로벌 센서 네트워크 플랫폼 기술의 개발이 절실히 필요하다. 논문에서는 본 연구실에서 개발중인 글로벌 센서 네트워크 플랫폼을 소개하고자 한다.

† 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(IITA-2007-C1090-0701-0015)과 과학기술부 및 한국과학재단의 국가지정연구실 사업(ROA-2007-000-10038-0)의 지원을 받아 수행된 연구 결과임.

* 정회원

** 학생회원

글로벌 센서네트워크 플랫폼은 크게 세 가지 부분으로 나뉜다. 첫째, 저전력 기반의 USN 기본 플랫폼 기술인 ANTS 플랫폼으로 초소형 운영체제인 ANTS EOS와 ANTS 하드웨어, 네트워크 프로토콜, 시각동기, 위치 인식 등의 핵심 기능으로 구성된다. 둘째, 센서 노드에 IPv6 주소를 부여하고 경량화된 IP-USN 애드혹 네트워크 프로토콜과 기존 망접속 게이트웨이를 통하여 세계 어디에서나 인터넷을 통해 접속이 가능한 IP-USN 플랫폼이 있다. 셋째, 다양한 센서 네트워크 물리 인프라 기술의 연동을 지원하는 글로벌 액세스망과 이 기종 센서 네트워크들의 글로벌한 정보 공유 표준 인프라를 포함하는 EPC 센서 네트워크 플랫폼이다. EPC 센서 네트워크는 RFID와 USN의 통합 인프라스트럭처로 RFID/USN 국제 표준화기구인 EPCglobal 산하의 Auto-ID Labs와 본 연구실을 중심으로 정보유통 및 공유 등의 목적으로 연구되고 있는 최신 글로벌 미들웨어 인프라 기술이다. 본 논문에서는 지면 관계상 EPC 센서네트워크 부분은 제외하기로 한다. 본 글로벌 센서 네트워크 플랫폼은 지금까지 국방, 농촌, 재난재해 관리 등 다양한 응용에 직접 활용되어 그 기술을 검증 받고 있다. 실례로 2006년 제주도 한라산 기상 재난 정보 제공 USN 과 USN 기반 불국사 문화재 관리 시스템, 2007년 울릉도/독도 재난재해 감시 USN 시스템, 텔레메틱스 응용인 스쿨존과 무인 주차장 응용 프로젝트 등에 ANTS 플랫폼이 활용되었다.

본 논문의 2장에서는 ANTS 센서 네트워크 플랫폼의 구성 및 특징에 대해서 살펴보고, 3장에서는 IP-USN 플랫폼의 구성 및 개발 현황 그리고 4장에서는 실제 구현 사례로 울릉도/독도 재난재해 감시 USN 시스템 구현에 대해 설명하며 5장에서 결론 및 향후 계획으로 본 논문을 맺는다.

2. ANTS 센서 네트워크 플랫폼

ANTS의 어원은 개미 특성에서 비롯되었다. 개미를 포함하는 곤충 집단의 행동(Insect Colony Behavior)은

각 개체는 지능의 한계를 가지지만, 집단 전체의 관점으로 볼 때에는 복잡한 행동들을 보이는데 이는 센서 네트워크의 특성과 매우 유사하다. 센서 네트워크는 개미 집단처럼 상호협력을 통해 데이터를 수집하여 계산하는 기능을 수행하며, 센서 노드들도 한 마리의 개미와 같이 매우 제한된 능력을 지니고 있기 때문이다. 더불어 외부 환경에 따라 진화하고 적응한다는 관점에서 볼 때 진화 능력을 가진 센서 노드와 센서 네트워크는 유기체와 같다고 볼 수 있으며 각 개체가 가지고 있는 환경 정보는 서로 간의 정보 공유를 통하여 유용한 정보를 제공할 수 있게 된다. 즉, 정적인 센서 네트워크는 미미한 환경의 변화에도 적응하지 못하고 네트워크의 문제가 생길 수 있기 때문에 개미 집단과 같이 센서 네트워크에서는 환경의 요구사항에 변화하고 적응할 수 있어야 한다. 따라서 ANTS 센서 네트워크 플랫폼은 환경의 변화에 맞추어 진화할 수

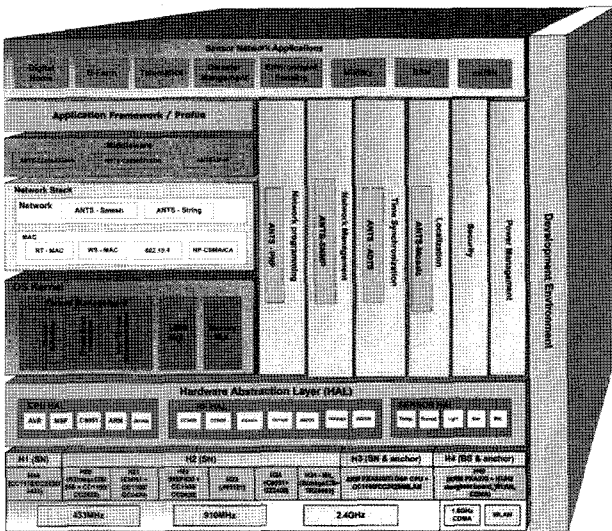


그림 1 ANTS 플랫폼 구조

있는 저전력 기반의 센서 네트워크 플랫폼으로 설계하였으며 주요 구성 요소로는 그림 1과 같다.

운영체제인 ANTS EOS는 하드웨어 리소스의 전력 제어 및 Duty Cycle Scheduling 기술을 활용한 저전력 기반으로 구성되었고, 서로 다른 플랫폼들로 구성된 다양한 센서 네트워크시스템을 지원할 수 있고, OS가 가지는 진화성을 통해 투명하고 즉각적인 시스템 업그레이드가 가능하다. ANTS 하드웨어 또한 다양한 센서 네트워크 응용들의 요구에 부합하기 위해 4가지 종류로 설계되었다. 더불어, 다양한 응용 요구사항을 만족시키는 다수의 통신 프로토콜을 제공하며 네트워크의 자율성 및 고장 감내성(Fault-tolerance)을 지원한다. 추가적으로 한 홉당 수 마이크로초 이하의 시각동기 오차를 가지는 초정밀 무선 시각 동기 기술, 거리 학습 기반의 알고리즘을 통해서 최소비용과 최소 에너지를 지원하는 하이브리드 위치 인식 기술을 제공한다. 또한, 주변 상황에 대한 정의와 이벤트 관리, 이벤트에 대한 대응을 제공하는 UPnP 네트워크 기반의 상황 인지 서비스 및 표준 망관리 프로토콜인 SNMP를 통하여 센서 네트워크의 구성 및 성능, 장비, 보안 기능을 관리할 수 있는 기술도 제공한다. 보안 분야에서도 경량 암호화 알고리즘과 대칭키에 기반한 경량 키 관리 기법을 통해 신뢰성 있는 네트워크 형성이 가능하다. 본 장에서는 지면 관계상 ANTS 플랫폼 기술의 중요 일부만을 기술한다.

2.1 하드웨어

ANTS 하드웨어는 다양한 응용을 지원하기 위해 계층화된 H1에서 H4까지의 4가지 기본 플랫폼을 가지고 있다. 이들 하드웨어 기본 플랫폼을 라이브러리 형태로 활용하여 다양한 응용 분야에 적용이 가능하다. 표 1은 ANTS 하드웨어 분류에 대해 설명하였다.

표 1 ANTS 하드웨어 분류

노드	특징	기능
H1 (센서 노드)	<ul style="list-style-type: none"> 8비트 CPU, 무선 트랜시버 통합형 초소형, 다양한 RF 지원, 무선 메쉬 네트워크, 배터리 기반 운용, ANTS EOS 	<ul style="list-style-type: none"> 실시간 데이터 전송 (저장 능력 없음) 초소형 USN 장비 응용
H2 (센서 노드)	<ul style="list-style-type: none"> 8~16비트 마이크로 컨트롤러, 로컬 데이터 저장소 다양한 RF 지원, 무선 메쉬 네트워크, 배터리 기반 운용, ANTS EOS 	<ul style="list-style-type: none"> 데이터 전송 및 저장 Mote 급 센서 노드
H3 (센서 노드)	<ul style="list-style-type: none"> 32비트 마이크로 프로세서, DSP 고성능 센서 신호 처리 다양한 RF 지원, 무선 메쉬 네트워크, ANTS EOS/Embedded Linux 배터리 또는 유선급전 	<ul style="list-style-type: none"> 앵커 노드 클러스터 헤더 고급 센서 노드
H4 (베이스 스테이션)	<ul style="list-style-type: none"> 32비트 마이크로 프로세서 다양한 USN용 RF 지원, 무선 메쉬 네트워크, Embedded Linux Wibro/HSDPA/CDMA/WLAN 등 배터리 또는 유선급전 	<ul style="list-style-type: none"> 베이스 스테이션 게이트웨이

2.2 운영체제

ANTS EOS는 유연한 하드웨어 추상화 계층(HAL), 동적인 업데이트(Dynamic Re-programming)를 위한 API와 환경설정 관리 도구를 가진 하이브리드 멀티스레드 운영체제로서, Thread management, Semaphore, Shared memory, IPC 등의 기능 지원은 물론 마이크로프로세서 및 RF, 센서 등 하드웨어 리소스의 전력 제어 및 duty cycle scheduling을 지원하고 환경 및 응용 프로그램의 다양한 변화에 대해 능동적 대응이 가능한 실시간 초소형 센서 운영체제이다.

EOS Kernel은 다중 하드웨어 플랫폼을 지원하는 멀티 플랫폼 운영체제로서 멀티 태스킹을 지원하는 초소형 태스크 관리 및 스케줄러 기술, 배터리 기반의 센서노드의 가용시간을 극대화 하는 저전력 관리 기술, MMU가 없는 시스템에서의 초소형 메모리 관리 기술, 경량의 쓰레드간 메시지 통신 기능, 표준화된 HAL 및 디바이스 드라이버, 표준 센서 OS API를 포함한다. 여기에 CSMA/CA 등 다양한 MAC 프로토콜과 String/Tree/Mesh 라우팅 프로토콜을 지원하여 다양한 센서 응용에서 폭넓게 활용할 수 있도록 하였다. 이와 더불어 Mission critical한 응용을 위한 초소형 고신뢰 실시간 스케줄러, 고장감내(Fault Tolerance) 기법, 진화형 S/W 업그레이드, 네트워크 재프로그래밍, GUI 기반의 통합개발환경(IDE)을 지원하고 일관된 표준 인터페이스를 통해 통합 플랫폼을 목표로 설계되어 있다. 그림 2는 Eclipse 기반의 통합 개발 환경인 ANTS IDE(Integrated Development Environment)의 실행과정 모습을 보여준다.

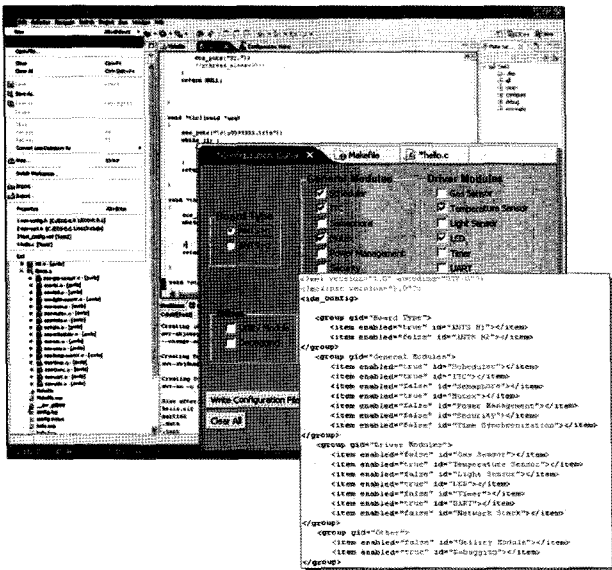


그림 2 Eclipse 기반의 ANTS IDE 실행 화면

2.3 네트워크 스택

센서 네트워크의 응용 분야가 다양해지고, 그 규모가 커짐에 따라서 네트워크의 다양한 스펙과 기능들이 요구되고 있다. 센서 네트워크가 구성되는 환경에 따라 센서 노드들은 동적으로 환경에 적합한 형태로 네트워크를 구성하며 진화할 수 있는 능력이 필요한 것이다. ANTS 네트워크 스택은 기존의 정적인 네트워크 계층의 기능과 차별될 수 있도록 다양한 환경에서 적합한 MAC기술을 지원하고 동적 자가 구성 능력을 갖는 네트워크기술을 제공한다. 또한 센서 네트워크는 환경과 그 응용에 따라 요구사항이 달라지며, 이에 따라 센서 네트워크에 사용될 주파수 대역, 토폴로지, 전송 시간, 에너지 소모량, 노드 동기화 등이 고려되어 설계되어야 한다.

ANTS MAC 프로토콜은 현재 표준으로 정의되어 있는 IEEE 802.15.4와 다양한 주파수대를 지원하는 초경량 CSMA/CA, 실시간 응용에서 쓰일 수 있는 Real-time MAC을 제공한다. 이 밖에도 ANTS MAC은 그림 3과 같이 에너지와 지연시간을 줄이기 위한 Wake-on-radio MAC 프로토콜을 개발하여 지원하고 있다. WOR은 duty-cycle을 지원하는 비동기화 MAC으로써, 전송 노드에 보낼 패킷이 있을 경우 짧은 preamble 패킷을 여러 개 보낸다. 그 동안 받는 노드가 wake 상태에 있으면 패킷 전송을 시작한다. 따라서 WOR은 동기화 MAC 프로토콜보다 짧은 지연시간을 지원하고 긴 프리앰블로 인한 에너지 소모를 줄일 수 있다.

ANTS 네트워크 계층은 기본적으로 계층적 라우팅 방식을 사용하며, 하나의 센서 노드가 전송할 수 있는 통신 범위의 한계를 극복하기 위해 멀티 홉 라우팅을 지원한다. 계층적 라우팅은 인접한 노드간의 유사 정보로 인한 에너지 낭비를 줄일 수 있고 네트워크의 구성이 용이하다는 장점이 있다. 또한 동적인 네트워크 환경에서도 안정적인 통신 지원과 효율적인 네트워크 기능을 제공하기 위하여 ANTS 네트워크 계

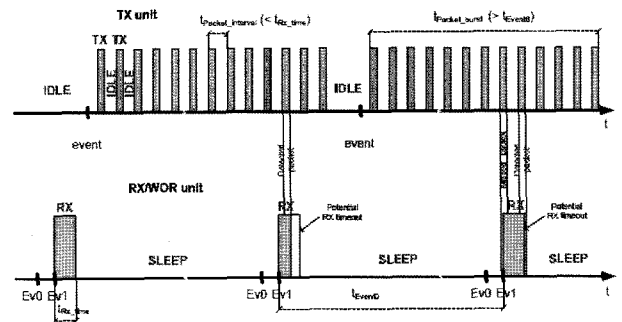


그림 3 Wake-on-Radio 프로토콜 동작 방식

층은 다음과 같은 특징을 목표로 설계되었다.

- 자가 구성 기능(self-forming) : 센서 네트워크는 사람이 접근하기 힘든 환경에 많은 수의 센서 노드가 설치되는 경우가 대부분 이므로 사람이 직접 네트워크를 구성하는 것은 불가능 하다. 따라서 ANTS 네트워크는 센서 노드 자체적으로 네트워크를 구성할 수 있는 기능을 제공한다. 각 센서 노드의 네트워크 주소를 고정시키지 않은 채로 센서 노드를 배치하면 센서 노드가 네트워크를 구성할 때 자신의 상위 노드로부터 Hi-Low 주소 체계에 의하여 네트워크 주소를 할당 받게 된다. 이를 통하여 기존의 고정적인 네트워크 주소 체계에 비하여 환경에 따라 유동적으로 자신의 네트워크 주소를 바꿔서 대처할 수 있다.

- 저전력 설계 : 네트워크를 구성한 센서 노드는 RF 전송거리 대역 내에서 자신의 이웃 노드가 누구인지를 기억하도록 설계 되었다. 이것은 계층적 라우팅의 취약점이었던 최단 거리 문제를 해결하고자 하는 노력으로, 자신의 상위 노드나 하위 노드가 아니라 하더라도 자신의 목적지로부터 가까운 위치에 놓여 있는 이웃노드에게 데이터를 전송하게 된다. 따라서 기존의 계층적 라우팅 보다 빠른 패스를 찾을 수 있고 에너지를 효율적으로 관리할 수 있다는 이점이 있다.

- 다양한 네트워크 토폴로지 지원 : 센서 네트워크는 배치되는 환경과 응용에 따라서 서로 다른 토폴로지를 요구한다. 따라서 ANTS 네트워크 계층은 이러한 요구에 부합되도록 계층적 라우팅을 기본으로 하여 star, string, mesh 토폴로지를 유동성 있게 지원하도록 설계되었다.

- 고장감내성(Fault-tolerance) : 에너지 고갈, 물리적인 충격 및 주위 환경의 간섭으로 인하여 센서 노드가 주어진 역할을 하지 못하게 되면 네트워크 전체에 장애를 줄 수 있다. ANTS네트워크는 이러한 예기치 못한 상황에 대처할 수 있도록 토폴로지의 재구성 기능을 가진다. 만약 네트워크를 구성하는 센서 노드가 환경적 어려움으로 인하여 네트워크와의 연결이 끊어졌을 경우, 주변 네트워크 재탐색을 통하여 기존 노드와 연결을 시도 하거나 새로운 네트워크에 접속하여 네트워크 실패율을 줄이도록 설계되었다.

2.4 위치인식

센서 네트워크에서의 위치 정보는 응용에서부터 MAC 계층에 이르는 모든 분야에서 유용하게 사용될 수 있다. 위치 정보를 활용하여 라우팅을 하거나 클러스터를 효율적으로 구성할 수 있을 뿐만 아니라 센서 노드의 위치 정보를 사용하여 사용자의 위치 추적을 하여

다양한 서비스를 사용자에게 제공할 수 있다.

센서 네트워크에서의 위치 인식은 거리 측정과 위치 계산 두 부분으로 나눌 수 있다. 거리 측정은 자신의 절대적 위치를 가지고 있는 앵커 노드 또는 위치 인식의 기준이 되는 레퍼런스 노드와 자신의 위치를 모르는 노드 사이의 거리를 측정하는 과정을 말한다. 일반적으로 RSS(Received Signal Strength)가 가장 많이 사용되지만 다중 경로에 의한 오차와 Fading 채널에 의한 오차로 인해 측정 정확도가 매우 떨어지며, Calibration이 필요하다는 단점을 가지고 있다. 하지만 거리측정 프로토콜이 간단해 진다는 장점이 있다. TOA(Time of Arrival)와 TDOA(Time Differential of Arrival)는 RF신호의 Time-of-Flight를 사용하여 거리를 측정하는 방법이다. TOA는 One-way와 Two-way로 나눌 수 있는데 One-way의 경우에는 앵커와 노드가 정확한 시각 동기화가 필요하다. Two-way의 경우에는 RF신호의 Round-trip-time을 측정하기 때문에 상호간의 시각 동기가 필요 없다. TDOA는 노드에서 전송된 RF 신호가 각 앵커에 도착하는 시간 차이를 사용하여 거리를 측정하기 때문에 각 앵커 사이의 정확한 시각 동기가 필요하다. 하지만 Fading 채널에 의한 오차가 적기 때문에 RSS보다 정확한 거리 측정이 가능하다. AOA(Angle of Arrival)은 스마트 안테나를 사용하여 RF 신호의 수신 방향을 측정하고 이를 가지고 측위를 하는 방법이다. 이 방법은 특별히 고안된 안테나가 필요하다는 단점을 가지고 있다.

위치를 계산하는 방법은 삼각 측량법, Cell-ID 기반, Proximity 기반 등의 방법이 있다. 삼각 측량은 가장 많이 사용하는 방법으로 3개의 앵커와 노드간에 측정한 거리 정보를 바탕으로 좌표를 계산하는 방법이며, Cell-ID 기반은 위치 인식을 할 대상 필드를 Cell로 나누고 태그가 어느 Cell에 속해 있는지를 알아내는 방법이다. Cell-ID 방법은 Cell의 크기가 작아야 정확도를 높일 수 있지만 동시에 구현이 어려워진다는 단점이 있다. Proximity 방법은 Finger Printing이라고도 하며 미리 대상 필드의 각 테스트 포인트에서 앵커와의 RF정보를 수집하여 DB를 구축하고 이 정보를 바탕으로 좌표를 계산하는 방법이다.

ANTS 플랫폼은 세 종류의 위치 인식 모듈을 가지고 있다. 첫 번째로 Para-LDL-EI(Parametric Learning based Distance localization with Evolution Improvement)는 측정된 거리와 hop 정보를 사용하며 range-based 매커니즘을 사용하여 각각의 노드 위치를 구한다. Mosaic Localization System은 앵커와 노드 사이



그림 4 CSS 기반 위치 인식 시스템 태그 하드웨어

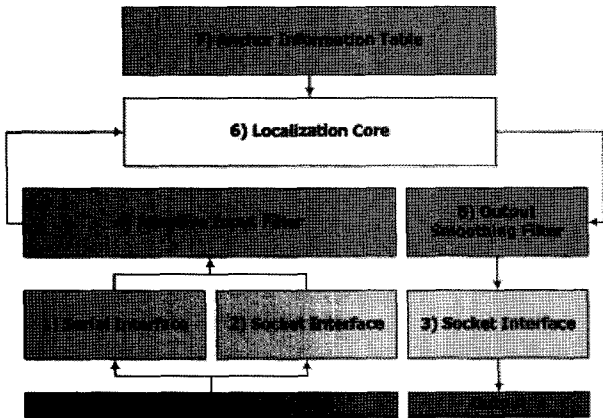


그림 5 CSS 기반 위치 인식 시스템 위치 인식 서버 블록 다이어그램

가 멀티 홉으로 이루어진 환경일 경우 위치 인식에 필요한 패킷의 수를 줄여 전체 시스템의 Life-time을 증가시켰다. 마지막으로 CSS 기반의 위치 인식 시스템으로 기존의 시스템들이 RSS를 사용하여 위치 인식을 하는 반면에 CSS(Chirp Spread Spectrum) 기반 위치 인식 시스템은 CSS RF 송수신 장치를 사용하여 TOA로 거리를 측정한다. 때문에 훨씬 뛰어난 거리 측정 정확도와 위치 인식 정확도를 가지고 있다.

그림 4는 CSS 기반의 위치 인식 시스템의 노드를 나타낸다. 노드는 CSS기술을 사용하는 RF송수신 장치를 사용하였다. 그림 5는 센서 네트워크에서 측정된 거리를 바탕으로 위치를 계산하는 서버의 블록 다이어그램을 나타낸다. CSS 기반의 위치 인식 시스템은 노드가 자신의 좌표를 계산하지 않고 거리 정보를 중앙 서버에 전송하여 위치를 계산 한다.

3. IP-USN 플랫폼

센서 네트워크는 현재의 인터넷과 같이 전세계적

으로 확산되어 대규모의 글로벌 센서 네트워크를 형성하게 되고 사용자는 언제 어디서나 필요한 서비스를 쉽게 제공받을 것으로 기대하고 있다. 하지만 기존의 센서 네트워크 기술만 가지고는 이러한 대규모의 글로벌 센서 네트워크를 구성하고 통일된 규격을 따르는 통신 및 응용 프로그램 인터페이스를 제공하는데 있어 어려움이 따른다. 특히, 기존의 센서 네트워크는 응용 분야에 의존적인 지역적인 네트워크에 적합하고, IP 기반의 프로토콜을 사용하지 않기 때문에 인터넷과의 통합과 글로벌한 서비스의 제공이 어렵다.

IP-USN(Internet Protocol-Ubiquitous Sensor Network)은 IPv6 규격을 센서 네트워크의 특성에 맞게 적용시킴으로서 기존의 인터넷과 IPv6 기반의 인프라를 센서 네트워크와 효과적으로 통합하고 연동하는 기술이다. IP-USN의 각 센서 노드는 고유한 IPv6 주소를 자동으로 할당받고 IP-USN 게이트웨이는 인터넷에 연결되어 전세계의 어느 곳에서도 직접 센서 노드에 접근할 수 있게 된다. 또한 IP 기반의 기술을 센서 네트워크에 맞게 적용시키므로 안정성, 확장성, 보안, 그리고 이동성 등의 장점을 제공할 수 있게 된다. 특히 유무선 인터넷, 와이브로 등의 인터넷 인프라와 BcN(광대역통합망)과 연계되므로 장소에 구애받지 않고 센서 네트워크를 구축하여 서비스를 제공하기 때문에 대규모 글로벌 센서네트워크에 적합하다. 한편, IP-USN에 적용되는 규격은 2004년에 구성된 국제 표준화 단체인 IETF 6LowPAN 워킹그룹에서 표준화를 진행하고 있으며 현재 두 개의 규격(RFC 4944, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 networks", RFC 4919, "6LoWPANs: Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals")만 승인된 상태이고, 라우팅 프로토콜, 보안, 이동성, 그리고 서비스 디스커버리 등과 같은 규격은 드래프트 상태이다.

본 장에서는 진화형 센서 네트워크인 ANTS 플랫폼 위에서 구현한 IP-USN 플랫폼에 대한 설명과 설계 그리고 동작에 대한 시험 및 평가를 기술한다.

3.1 IP-USN 센서 노드

IP-USN 센서 노드는 사용자가 요구하는 정보를 실제로 수집하는 노드로서, 해당 정보를 수집하는 센서, 16비트 마이크로컨트롤러, IEEE 802.15.4 지원 RF 송수신기 등을 포함하는 IP-USN 하드웨어와 초소형/저전력 운영체제, 경량 TCP/IP 스택, 6LowPAN Adaptation layer, 그리고 응용 프로그램 등을 포함하는 소프트웨어로 구성된다.

표 2 IP-USN 센서 노드 하드웨어 명세

종류	내용
Processor	8MHz TI MSP430
RAM	8KB
Storage	116KB Flash
Network	Standard IEEE 802.15.4 low-power radio - RF : TI CC2420, Data rate : 250 kbps
I/O	RS232
USB	USB 1.1 compliant Port
Power	AA size battery powered

IEEE 802.15.4 MAC 패킷의 MTU size는 127 bytes 인 반면 IPv6 패킷의 MTU는 1280 bytes 이므로 MAC header 및 MAC Security header를 제외한 81 bytes의 MAC 패킷 payload에 IPv6 패킷을 효율적으로 압축, 분할 및 재결합하여 전송할 수 있는 방법이 필요하게 되었고 이를 위해 6LoWPAN 워킹그룹에서는 RFC 4944, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 networks"를 규격화 하였다. RFC 4944에서는 6LoWPAN의 프레임 형식, 6LoWPAN Adaptation layer의 IPv6 패킷을 압축하고 해제하는 방법, Fragment/Reassembly 방법, 그리고 센서 노드에 고유한 IPv6 주소를 자동으로 할당하기 위한 Stateless auto-configuration 방법 등을 정의한다.

본 연구에서 구현한 6LoWPAN Adaptation layer는 Fragmentation/Reassembly를 제외한 모든 RFC 4944, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 networks"의 규격을 포함한다. Fragmentation/Reassembly를 제외한 이유는 본 구현에서 사용한 MSP430의 메모리가 8KB이고 Fragmentation/Reassembly를 제외한 IP-USN 센서 노드 소프트웨어에 사용된 메모리가 6KB이기 때문에 Fragmentation/Reassembly를 완전히 지원하는데 메모리가 부족했기 때문이다. 따라서 완전한 Fragmentation/Reassembly의 지원을 위해 외장 메모리의 추가가 필요하고 이는 추후 연구의 구현 이슈로 남겨 두었다.

한편, 현재까지 규격화된 RFC 4944, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 networks", RFC 4919, "6LoWPANs: Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals"만 가지고는 센서 네트워크의 라우팅을 수행할 수 없다. 물론 6LoWPAN에 제안된 몇몇 라우팅 프로토콜, "Hierarchical Routing over 6LoWPAN (HiLow)", "6LoWPAN Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing(LOAD)", "Dynamic MANET On-demand for 6LoWPAN(DYMO-low) Routing"이 있지만 모두 아직 드래프트 상태이다. 본 논문에서는 이 중 HiLow 드

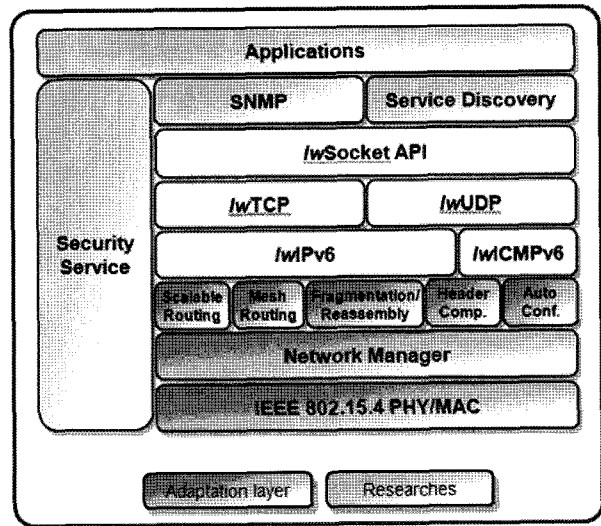


그림 6 IP-USN 센서 노드 네트워크 스택 구성도

래프트를 구현하였고 추후 연구에서는 LOAD와 DYMO-low를 구현하여 성능을 비교/분석하여 센서 네트워크에 최적화된 독자적인 라우팅 프로토콜을 제안할 계획이다.

마지막으로 IP-USN의 센서 노드의 핵심 소프트웨어 중 하나인 경량 TCP/IP 스택은 현재 IPv6, UDP, ICMPv6(Ping)만을 포함하고 있다. 왜냐하면 6LoWPAN의 RFC 4944, "Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 networks"에는 네트워크 트래픽이 가장 많고 패킷 크기도 가장 큰 TCP의 압축 방법에 대한 정의가 없기 때문이다. 물론 ICMPv6 또한 압축 방법에 대한 정의가 없지만 본 논문에서는 ICMPv6 중 Echo request와 Echo reply만 구현하여 센서 노드까지의 왕복 시간을 검사할 수 있도록 하였다. 그림 6은 IP-USN 센서 노드 네트워크 스택 구성도이다.

3.2 IP-USN 게이트웨이

IP-USN 센서 노드들로 구성된 6LoWPAN은 그 자체만으로는 Local scope으로만 동작 가능하며 Internet에 있는 호스트에서 센서 노드로 접근하는 것과 같은 global scope의 동작은 불가능 하다. 따라서 6LoWPAN과 Internet과의 연결을 제공하는 IP-USN 게이트웨이가 필요 하며 이를 통해 언제 어디서나 IP-USN 센서 노드와의 통신이 가능하다.

IP-USN 게이트웨이는 대량의 데이터 처리, 센서 노드 및 6LoWPAN 관리, Internet과의 연결 등을 위해 IP-USN 센서 노드보다 높은 성능 및 리소스의 하드웨어가 요구된다. 본 연구에 사용된 IP-USN 게이트웨이 하드웨어는 표 3의 사양과 같이 32bit CPU와 512MB RAM, 8GB storage를 가지고 있다.

표 3 IP-USN 게이트웨이 하드웨어 사양

종류	내용
Processor	Embedded Intel Pentium M/Celeron M
RAM	512MB
Storage	8GB CF Memory
Network	2 x RJ45 10/100 Mbps Ethernet
I/O	RS232, LPT
USB	2 x USB 2.0 compliant Ports
Power	APM1.2, ACPI support

IP-USN 게이트웨이는 위에 기술된 하드웨어에 Fedora7 이 포팅 되었으며 본 연구에 사용한 linux kernel은 2.6.21 version으로 IPv6 스택이 포함되어 있다. IP-USN은 IPv6망에서의 동작을 전제로 하지만 IPv4 망 및 IPv6 망이 혼합되어 있는 Internet과의 연동을 위해 IP-USN 게이트웨이는 IPv4/v6 듀얼 스택이 필요하며 Network Translation 기술 또는 Tunneling 기술을 통해 IPv4-IPv6 혼합 망에서도 정상적인 연결을 제공한다. IP-USN 게이트웨이 소프트웨어는 Internet으로부터 들어오는 패킷의 해석 및 나가는 패킷의 생성을 위해 IEEE 802.3/11 PHY/MAC, IPv6, ICMPv6, TCP, UDP 스택을 가지며, 6LoWPAN 패킷의 생성 및 해석을 위해 6LoWPAN Adaptation Layer를 가진다.

3.3 IP-USN 망 구성 및 실험

IP-USN 망은 IPv6망 기술을 기반으로 하지만 현재 Internet은 IPv4 망 위주로 구성되어 있으며 IPv6 망은

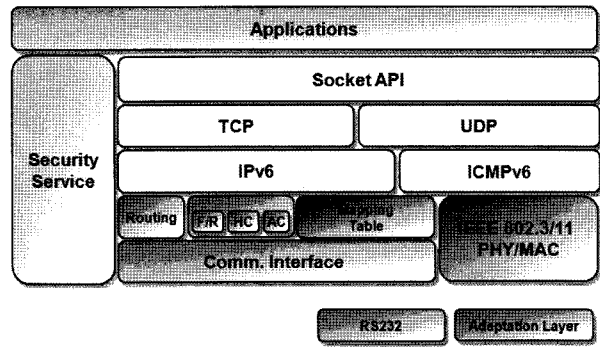


그림 7 IP-USN 게이트웨이 소프트웨어 스택

부분적으로 혼합되어 있다. 본 연구를 위한 IP-USN 망은 그림 8과 같이 KOREN 망의 IPv4/v6 듀얼 스택을 가진 호스트와 IPv4망의 듀얼 스택을 가진 IP-USN 게이트웨이 및 IP-USN 센서노드들로 구성된 6LoWPAN으로 구성된다. KOREN 망의 호스트와 6LoWPAN과의 통신을 위해 호스트와 IP-USN 게이트웨이 간 6to4 configured tunnel을 설정하였으며 이를 통해 KOREN 망의 호스트와 IPv4 망의 IP-USN 게이트웨이 및 센서 노드간의 IPv6 통신이 이루어진다.

위와 같이 구성된 IP-USN 망의 호스트와 센서 노드 간 ping6 테스트를 통해 ICMPv6 packet 전송 및 performance 테스트를 한 결과 평균 응답시간은 120 ms 정도였다. 그림 9는 ping6 테스트 및 응답시간 결과 캡처 화면이며 그림 10은 패킷 스니퍼를 이용해 캡처한 ICMPv6 MAC 패킷 화면이다.

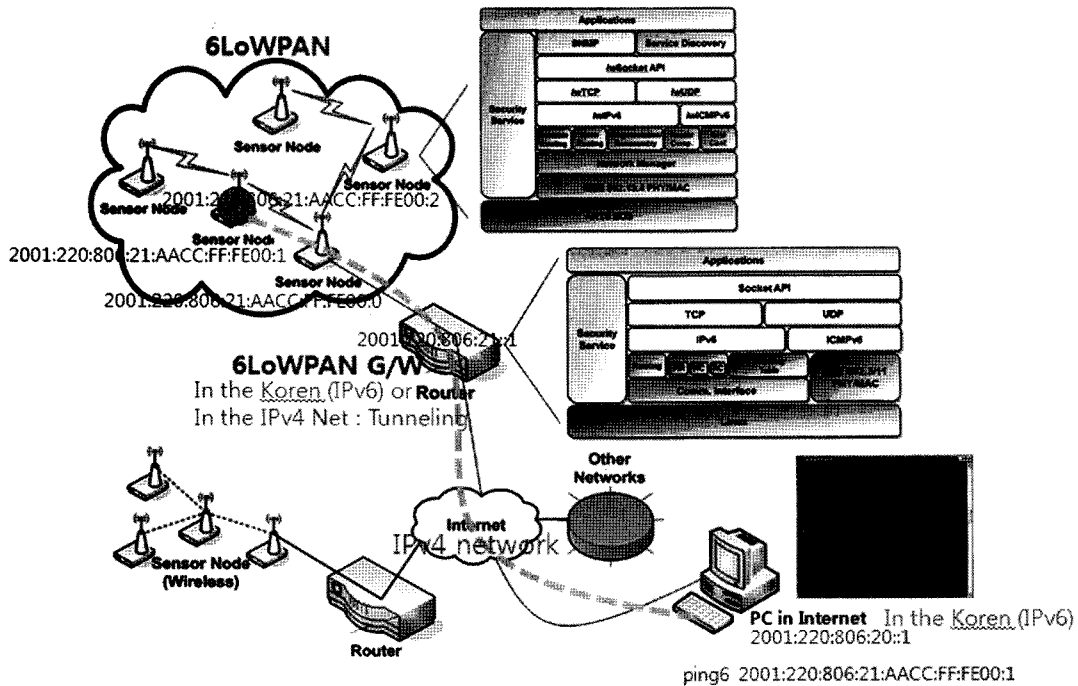


그림 8 KOREN과 IPv4 네트워크 연동 IP-USN 시험망 구성도

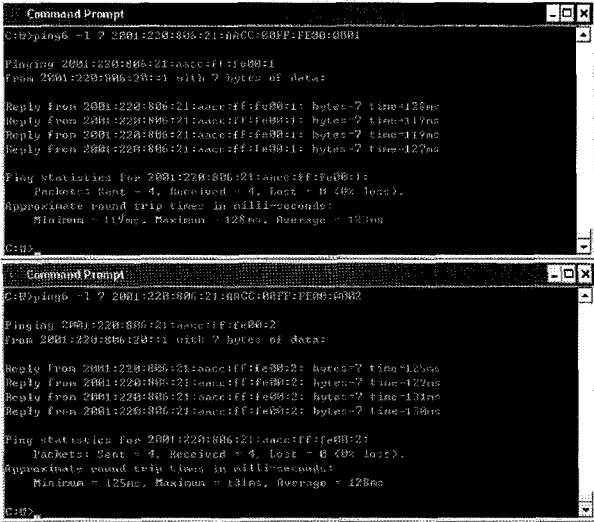


그림 9 Internet의 호스트와 센서노드 간 ping6 테스트

4. 울릉도/독도 재난재해 감시 USN 시스템 구현

ANTS USN 플랫폼의 응용 사례 중 하나로 울릉도/독도 지역에 설치한 재난재해 감시 USN 시스템을 소개한다. 울릉도와 독도 지역은 매년 연간 강수량이 국내에서 제주도 다음으로 많으며, 동해안 중앙에 위치하여 태풍 영향권에 항상 포함된 경우가 빈번하다. 더불어, 화산섬인 울릉도는 지리적으로 계곡형 하천 구조이고 폭우가 쏟아지게 될 경우 하천용량 부족으로 항상 범람위험이 내재되어 있다. 그리고 섬 지역이기 때문에 재난관리담당자 순찰 및 주민신고에 의한 상황접수체계와 인근 주민들을 위한 상황전파체계도 열악하다. 더불어, 울릉도 인근에 위치한 독도에는 관광객들의 폭발적 증가로 독도 관광이나 접안을 목적으로 향하는 선박들이 증가하고 있으나 시시각각 변

Time (us)	Length	Frame control field	Sequence number	Dest. PAN	Dest. Address	Source Address	MAC payload
+0	68	Type Sec Pnd Ack req Intra PAN	0x91	0xAACC	0x0001	0x0000	84 00 00 00 01 42 00 00 0F 80 20 01 02 20 08 06 00 20 00 00 00 00 00 01 20 01 02 20 08 06 00 21 AA CC 00 FF FE 00 00 01 20 01 02
+0	5	Type Sec Pnd Ack req Intra PAN	0x91	0xAACC	0x0001	0x0001	20 08 06 00 21 AA CC 00 FF FE 00 00 01 20 01 02
+0	68	Type Sec Pnd Ack req Intra PAN	0x90	0xAACC	0x0000	0x0001	84 00 01 00 00 42 00 00 0F 80 20 01 02 20 08 06 00 21 AA CC 00 FF FE 00 00 01 20 01 02 20 08 06 00 20 00 00 00 00 01 81 00 09 71 00 00 15 89 61 62 63 64 65 66 67
+0	5	Type Sec Pnd Ack req Intra PAN	0x90	0xAACC	0x0000	0x0000	20 08 06 00 20 00 00 00 00 00 00 01 81 00 09 71 00 00 15 89 61 62 63 64 65 66 67
+0	68	Type Sec Pnd Ack req Intra PAN	0x93	0xAACC	0x0002	0x0000	84 00 02 00 00 42 00 00 0F 80 20 01 02 20 08 06 00 20 00 00 00 00 00 00 01 20 01 02 20 08 06 00 20 00 00 00 00 01 81 00 09 71 00 00 15 89 61 62 63 64 65 66 67
+0	5	Type Sec Pnd Ack req Intra PAN	0x93	0xAACC	0x0002	0x0000	20 08 06 00 21 AA CC 00 FF FE 00 00 02 20 00 00 DA 6E 00 00 15 89 61 62 63 64 65 66 67
+0	68	Type Sec Pnd Ack req Intra PAN	0x9E	0xAACC	0x0000	0x0002	84 00 02 00 00 42 00 00 0F 80 20 01 02 20 08 06 00 21 AA CC 00 FF FE 00 00 02 20 01 02 20 08 06 00 20 00 00 00 00 01 81 00 09 71 00 00 15 89 61 62 63 64 65 66 67
+0	5	Type Sec Pnd Ack req Intra PAN	0x9E	0xAACC	0x0000	0x0002	20 08 06 00 20 00 00 00 00 00 00 01 81 00 09 71 00 00 15 89 61 62 63 64 65 66 67

그림 10 패킷сни퍼를 이용한 ICMPv6 패킷 캡처 화면

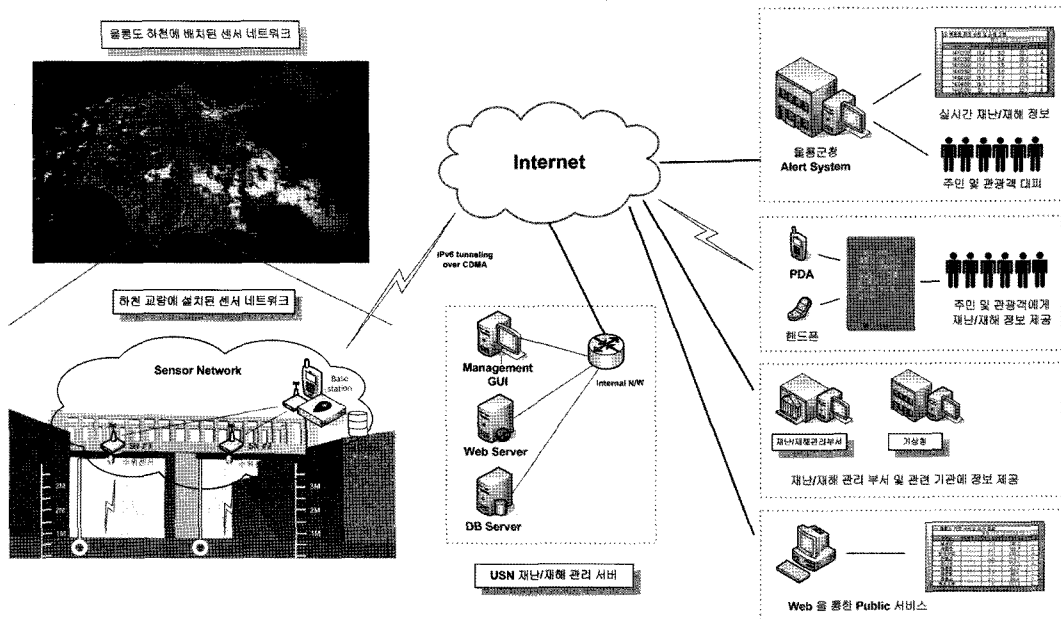


그림 11 울릉도 재난재해 감시 USN 시스템 구성도

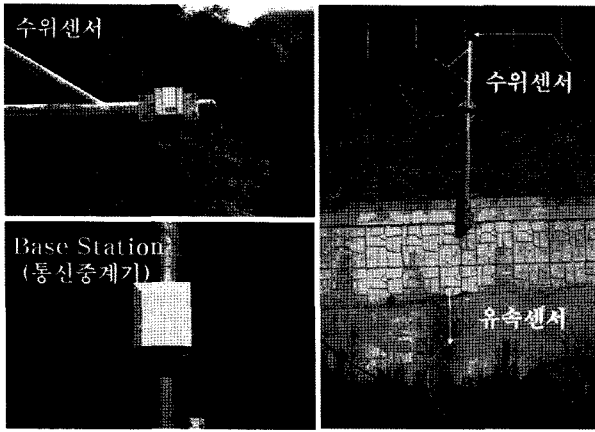


그림 12 울릉도 센서네트워크 설치 사진

화하는 풍향, 풍속, 해류의 유속 및 파고 등 각종 기상자료의 실시간 정보제공이 없어 대형 재난/재해 발생 우려가 있고 접안 성공률 또한 좋지 못하다.

따라서 울릉도에는 일정시간단위로 하천 유속 및 수위 등을 측정해서 범람 및 제방 붕괴 여부를 판단하고 이에 따라 자동적인 상황 전파 및 조치까지 취할 수 있는 재난/재해 관제 및 예보시스템 구축하였다. 독도의 접안시설에는 수위를 측정할 수 있는 센서를 설치하고 기상청으로부터 독도인근 기상정보를 제공받아 선박이 독도에 접안할 수 있는 여부를 판단하여 서비스를 실시간 제공할 수 있는 시스템을 구축하였다. 본 재난재해 감시 USN 시스템의 핵심기술로 ANTS 플랫폼이 사용되었다.

본 시스템은 울릉도 내 모든 15개 하천에 대한 하천 범람 사전 예보 시스템으로서 하천당 하나의 베이스 스테이션과 다수의 센서노드가 네트워크를 구성하고 센서노드로부터 수집된 센싱 정보를 베이스 스테이션이 CDMA를 통해 중앙 컴퓨터로 전송한다. 그리고 센싱 정보를 수신한 중앙 컴퓨터는 수집된 각종 재난/재해 정보를 울릉군청을 포함한 해당 재난/재해 관리부서와 공유하고 Web을 통한 서비스를 제공하며 실시간으로 주변 지역의 주민 및 관광객들에게 상황을 전파한다.

5. 결론

본 논문에서는 센서네트워크 응용의 다변화와 확산에 따른 세계적 규모의 글로벌 센서 네트워크의 필요성과 이를 위한 노력인 글로벌 센서 네트워크 플랫폼 구현에 대해서 소개를 하였다. 본 연구실에서 개발하고 있는 글로벌 센서 네트워크 플랫폼은 기존의 지엽적인 센서 네트워크 기술뿐만 아니라, 글로벌한 액세스 망이 될 수 있는 IP-USN 기술과 이기종의 센

서 네트워크를 글로벌하게 엮어 줄 수 있는 EPC 센서네트워크와 같은 글로벌 미들웨어 인프라를 포함한다. 이러한 글로벌 센서 네트워크는 대규모 기간통신망과의 융합을 통하여 향후 범세계적인 유비쿼터스 네트워크를 구축하는 기반 플랫폼 기술이 될 것이다.

참고문헌

- [1] 김대영, Tomas Sanchez Lopez, 유성은, 성종우, 도윤미, “유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 ANTS 플랫폼,” SKT 저널 Telecommunications Review, 제15권 2호, 2005.
- [2] Thomas W., Isabelle A. and Stephane U., “Dual-mode real-time MAC protocol for wireless sensor networks: a validation/simulation approach,” First international conference on integrated dinternet ad hoc and sensor networks, ACM, May, 2006.
- [3] Joseph P., Jason H. and David C., “Versatile low power media access for wireless sensor networks,” ACM Sensys 04, USA, 2004.
- [4] DuyBach Bui and Daeyoung Kim, “A Localization Algorithm Extension for The Evolvable Sensor Network,” Realtime and Embedded System Lab, Information and Communication University
- [5] Jihoon Kang, Daeyoung Kim, and Sungjin Ahn, “Mosaic Localization for Wireless Sensor Networks,” IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2007, Hongkong, March 2007.
- [6] Jae-eon Kim, Jihoon Kang, Daeyoung Kim, Younghwoon Ko, and Jungsik Kim, “IEEE 802.15.4a CSS-based Localization System for Wireless Sensor Networks,” IEEE Mobile Ad-hoc and Sensor System 2007, Pisa, Italy, Oct. 2007.
- [7] G. Montenegro, N. Kushalnagar, J. Hui, and D. Culler, “Transmission of IPv6 Packets over IEEE 802.15.4 Networks,” RFC 4944, IETF Network Working Group, Sept. 2007.
- [8] N. Kushalnagar, G. Montenegro, and C. Schumacher, “IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks(6LoWPANs): Overview, Assumptions, Problem Statement, and Goals,” RFC 4919, IETF Network Working Group, Aug. 2007.
- [9] K. Kim, S. Yoo, S. Daniel Park, J. Lee, and G. Mulligan, “Hierarchical Routing over 6LoWPAN(HiLow),” Internet-Draft, IETF Network Working Group, Jun. 2007.



김대영

1990 부산대학교 전산통계학과 학사
 1992 부산대학교 전산통계학과 석사
 2001 University of Florida 컴퓨터공학 박사
 1992~1997 한국전자통신연구원 연구원
 2001~2002 Arizona State University 컴퓨터공학과
 연구 조교수

2002~현재 한국정보통신대학교 부교수
 2005~현재 Auto-ID Lab Korea 부소장, Global USN 국가지정연구실
 디렉터
 관심분야 : Sensor Networks, Real-Time and Embedded Systems, Robotics
 E-mail : kimd@icu.ac.kr



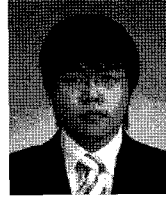
이종욱

2007 한국정보통신대학교 전산학과 학사
 2007~현재 한국정보통신대학교 전산학 석사과정
 관심분야 : Real-time Embedded OS, Sensor Networks System
 E-mail : scinfuture@icu.ac.kr



김은조

2006 이화여자대학교 정보통신학과 학사
 2006~현재 한국정보통신대학원 전산학 석사과정
 관심분야 : Sensor Networks, Ad-hoc networks, RFID
 E-mail : imikej33@icu.ac.kr



강지훈

2005 한국정보통신대학교 공학부 전자통신전공
 학사
 2007 한국정보통신대학교 공학부 컴퓨터공학 석사
 2007~현재 한국정보통신대학교 박사과정
 관심분야 : Localization, Ranging, Signal Processing
 E-mail : kunet@icu.ac.kr



홍성민

2004 인하대학교 컴퓨터공학과 학사
 2004~2006 LG전자 연구원
 2007~현재 한국정보통신대학교 석사과정
 관심분야 : IP-USN, Embedded Operating System
 E-mail : ghitsh@icu.ac.kr



정우영

2004 부산대학교 정보컴퓨터공학과 학사
 2004 (주)솔파 연구원
 2005~2006 (주)둘리정보통신 연구원
 2007~현재 한국정보통신대학교 석사과정
 관심분야 : IP-USN, Sensor Network Middleware,
 Sensor Network Security
 E-mail : sida37@icu.ac.kr