

주 제

“하르방” 프로젝트: USN 임베디드 시스템 기반의 재난재해 방지 서비스

ICU 김대영, 김재언, Thu Thuy Do, Poh Kit Chong, 유성은, 성종우
Tomás Sanchez Lopez, 제주대학교 김도현, 한국전산원 김형순

차례

I. 서론

II. 관련 연구

III. USN 임베디드 시스템 기반 재난재해 방지 서비스 개발

IV. 실증 실험

V. 결론 및 향후 계획

VI. 감사의 글

요약

본 논문에서는 USN 임베디드 시스템을 활용한 재난재해 방지 서비스의 설계 및 실증 시험내용을 기술한다. “하르방” 프로젝트로 명명된 본 연구에서는 최근 활발하게 연구되고 있는 USN 기술을 한라산 국립공원의 등산로에 적용함으로써, 고정밀의 기상 정보를 실시간으로 제공하고 재난재해 상황 감시 및 상황 발생을 실시간으로 알려 조기에 상황 대응이 가능하도록 하였다. 현재 독자적으로 연구개발이 이루어지고 있는 BcN, IPv6, USN 기술을 하나로 융합한 차세대 유비쿼터스 네트워크의 구조 연구는 향후 관련 산업을 선도함은 물론, 실제 응용에서도 범국가적인 정밀하고 광범위한 기상예보와 재난재해 방지 시스템으로서의 역할을 수행할 것으로 예상된다.

I. 서론

최근 활발하게 연구가 진행 중인 USN 기술은 미래의 유비쿼터스 사회 실현을 위한 핵심 기반 구조로서, 가정, 물류/유통, 교통, 행정, 보건, 복지, 그리고 환경 등의 다양한 분야에 적용되어 다가올 미래 사회의 기반 인프라로 자리 잡게 될 것이다.

본 논문에서는 USN망을 통한 기상 상황의 정밀한 실시간 관측기능을 활용하여 재난재해 방지를 위한 서비스를 제공할 수 있는 시스템 구조를 제안하며, 이를 위해 풍부한 주소를 제공하는 IPv6, 그리고 대용량의 센싱 정보 트래픽을 수용할 수 있는 BcN망을 포괄하는 융합 기술을 개발하고 테스트베드를 구축하고 있다.

현재 독자적으로 연구개발이 이루어지고 있는 BcN, IPv6, 그리고 USN 기술을 하나로 융합한 차세

대 유비쿼터스 네트워크의 구조 연구는 향후 관련 산업을 선도함은 물론, 실제 응용에서도 범국가적인 정밀하고 광범위한 기상예보와 재난재해 방지 시스템으로서의 역할을 수행할 것으로 예상된다.

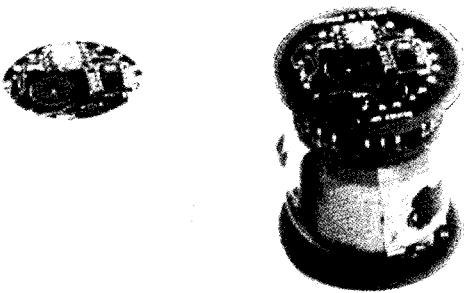
“하르방” 프로젝트로 명명된 본 연구는 등산객들의 안전한 등반과 환경 감시를 위하여, 한라산의 등산로에 실시간 정밀 기상 관측 센서 네트워크를 설치한 후, 획득된 기상 정보를 KOREN 망을 통해 센싱 정보 관리 집중국에서 수집하며, 또한 등산객들과 제주도청, 한라산 국립 공원 관리 사무소등에 재난 방지 및 관리의 목적으로 가공된 정보를 제공하고자 하였다. 특히 등산객들에게 제공되는 각 노드별 수 십 또는 수백 미터 단위의 지역을 커버하는 실시간 정밀 기상정보는 산악 등반 시 발생하는 위험요소들을 미리 예측할 수 있게 함으로써, 등산객들의 안전을 보장하며, 혹 산사태 및 계곡범람 등 재난/재해사고가 발생하더라도 지휘 통제소의 빠른 대응을 용이하게 하여, 효율적인 국가 재난재해 방지 시스템으로서의 가능성을 제시하고자 한다.

본 연구는 현재 진행중이며, 2006년 말에 시범 서비스를 제공할 예정이다.

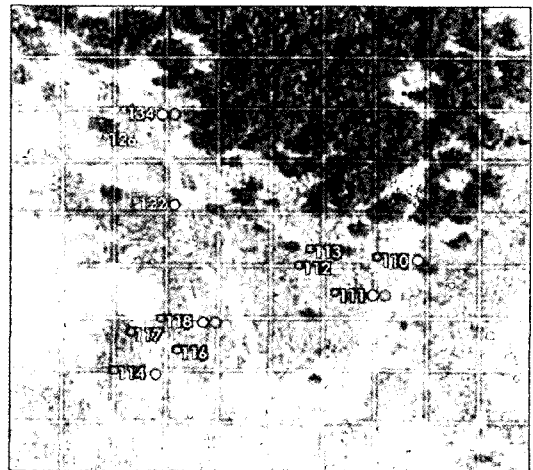
II. 관련 연구

자연 환경을 모니터링 하는 센서 네트워크 시스템 관련 연구의 대표적인 예로 Great Duck Island Ecosystems를 들 수 있다. 이는 센서 네트워크를 이용하여 Great Duck 섬에 서식하는 바다제비의 생태와 서식환경을 감시하기 위한 원격 생태계 모니터링 시스템으로서, UC Berkeley와 College of the Atlantic, UC Berkeley내 인텔 연구소가 공동으로 추진하여 구축되었다.

해당 연구에서는 (그림 1)에서 보이는 배터리 기반의 노드를 섬 곳곳에 배치하고, Multi-hop 애드혹 네트워크를 구성하여 각 센서노드 주변의 환경 정보를 수집, 데이터를 Base Station에게 보고하도록 하였다. 베이스 스테이션으로 수집된 데이터는 데이터 베이스에 저장되며, 방향성 외부 안테나를 통해 Great Duck Island에 있는 등대와 통신하게 된다. 등대에 설치된 위성 전송장치는 해당 정보를 California Berkeley에 있는 연구 장비에 전송하게 되고, 최종 사용자는 실시간 정보를 인터넷을 통해서 제공 받을 수 있도록 하였다. 해당 연구에서는 개발용



(그림 1) 센서 노드



(그림 2) 센서 노드 배치도

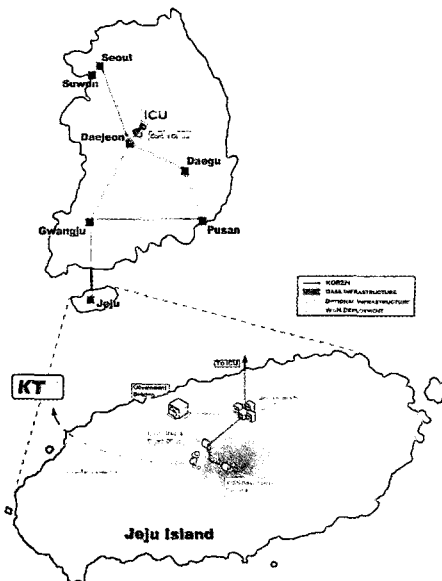
이 아닌 최종 사용자를 위한 Tiny Application Sensor Kit (TASK)를 개발하였으며, 센서 네트워크를 이용하여 직접적으로 하기 힘든 생태계 감시를 환경 파괴 없이 수행 가능함을 확인할 수 있었다. 또 다른 관련 연구로서 Redwood Park Forest Ecosystems를 들 수 있다. 이는 센서 네트워크를 이용하여 UC Botanical Garden에서 미국 캘리포니아 주의 주목인 삼나무(Redwood) 성장 환경을 모니터링하고, 삼나무를 둘러싼 안개 속 수분이 삼나무 성장에 미치는 영향을 조사한 연구이다. 자연 환경의 변화에 대응하면서 안정적인 측정을 하기 위해 삼나무 한 그루당 수 개에서 수십 개의 특수 제작된 센서 노드를 서로 다른 높이에 부착하여 높이 별 수분 상태가 삼나무 숲의 생태계에 어떤 영향을 미치는지를 조사하였다.

이 같은 기존 연구들은 USN 기술의 자연, 환경 감시용 활용에 대한 가능성을 보여 주었으며, 특히 그간 시간적, 공간적 제약으로 인해 센싱하기 어려운 분야에 대한 적용 가능성을 보여주었다는 데에 의미가 있

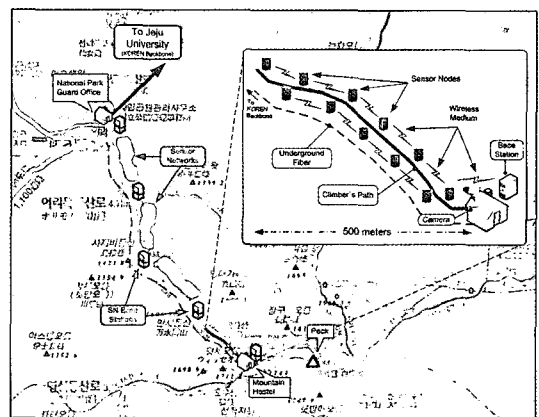
다. 하지만 대부분 연구 위주의 단순 적용에 머물러 있는 상태로, 실 사용자나 일반인에게 도움이 될 수 있는 서비스 수준에는 이르지 못한 한계를 가지고 있다.

III. USN 임베디드 시스템 기반 재난재해 방지 서비스 개발

“하르방” 프로젝트를 통해 구축되고 있는 시범 USN망의 구성은 다음과 같다. 한라산의 1100 고지에 있는 국립공원 관리 사무소에서부터 해발 1700m 윗세오름에 이르는 어리목 등산로에 고 정밀 기상 관측용 센서 네트워크를 설치하여 각 지점별 온도, 대기압, 조도, 진동 등의 정보를 수집하도록 한다. 이 센서 네트워크는 등산로의 특성을 반영하여 일렬로 이어지는 트리 네트워크로 구성되며, 베이스 스테이션의 과도한 트래픽 집중을 줄이기 위해 클러스터 기반의 단위 서브 네트워크를 구성한다. 각 서브네트워크에는 메인 서버로의 연결을 위한 1대의 베이스 스테이션을 설치하는데, 한라산이라는 지형적 제약 상황으로 인해 유선 통신의 활용이 어려워 메인 서버와의 연결에는 CDMA 무선망을 사용한다. 이렇게 구성된



(그림 3) KOREN 기반 재난 방지용 정밀기상 관측 USN 구성도



(그림 4) 한라산에 설치중인 USN 구조

센서 네트워크에서 각 센서노드는 주기적으로 sleep/wake-up을 반복하며 각 구간별 기상 정보를 측정하여 IPv6 기반의 베이스 스테이션으로 전달하는데, 한라산에서 수집된 센싱 정보는 제주대학교에 설치된 게이트웨이로 전달되고, 이 정보는 다시 KOREN망을 통해서 대전 ICU(한국정보통신대학교)의 컨트롤 룸으로 전달되게 된다. (그림 3)은 ICU-제주대학교-한라산에 이르는 전체 네트워크 구성을 나타내며, (그림 4)는 각 센서네트워크의 구성을 나타내었다.

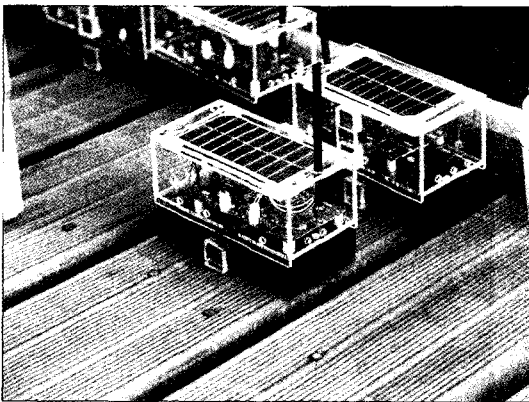
1. 하드웨어

환경변화가 심한 산악환경을 고려해 비, 바람, 해충, 온도, 습도 등 열악한 실외 환경 상황에서도 동작하는 센서 노드 하드웨어를 개발하였다. 센서 노드는

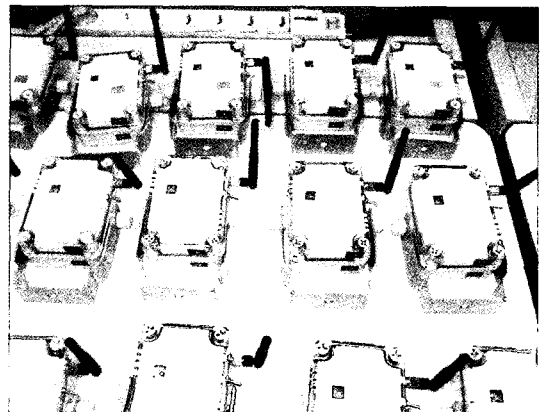
ICU의 ANTS H2 하드웨어를 기반으로 하였는데, 이는 저전력의 ATmega128L 8bit 마이크로 컨트롤러를 기반으로 다양한 RF모듈과 센서 모듈을 지원하는 특징을 가지고 있다.

고 정밀 기상 관측을 위해 “해르방” 프로젝트 센서 노드는 온도, 습도, 조도, 기압, 가속도 센서를 내장하였고, 환경 변화가 심한 산악 지형을 위해 다양한 주파수 대역을 활용하고자 (그림 5)에 보이는 447/910MHz 대역 센서 노드와 (그림 6)에 보이는 2.4GHz 대역 센서 노드 2가지로 개발하였다. 해당 센서 노드는 각각 Chipcon의 CC1100과 CC2420 칩을 사용하였다.

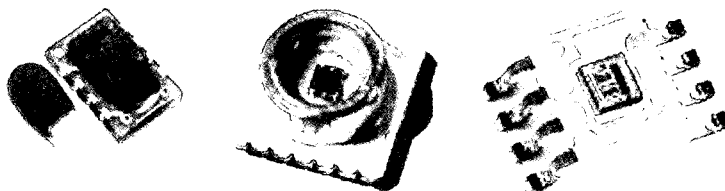
한번 설치가 되면 최소 수개월에서 최고 수년간 동작해야하는 센서노드를 위해 충전식 대용량 배터리를 사용하였고, 배터리 충전을 위해 태양열 전지판을 센서 노드 상부에 부착하였다. 이를 통해 태양광이 있



(그림 5) 447MHz 센서 노드 프로토타입



(그림 6) 2.4GHz 센서 노드 프로토타입



(그림 7) 센서 노드에 사용된 기상 센서(좌측부터, 온/습도 센서, 기압 센서, 조도 센서)

는 낮 시간에는 태양열 전지를 시스템 전원 및 배터리 충전 전원으로 사용하고, 태양광이 없는 저녁시간에는 충전지를 전원으로 사용한다.

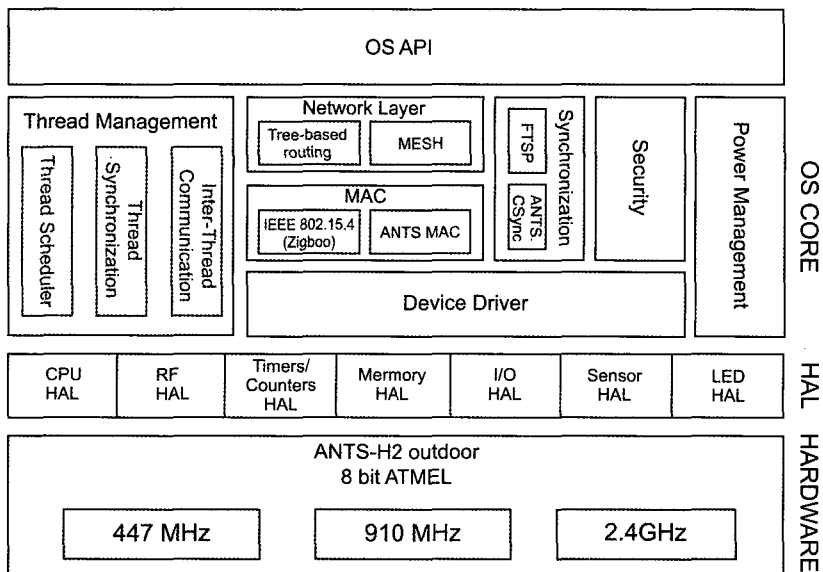
2. 운영체제

전국적 규모의 USN 망 구축을 위해서는 초소형의 하드웨어, 초경량의 네트워크 스택, 망 관리 기술 이외에도, 매우 제한된 자원을 가진 센서 노드들이 변화 무쌍한 주변 환경에 대응하며 동작할 수 있도록 해주는 새로운 센서 네트워크 운영체제가 필요하다. 본 연구에서 사용한 ANTS EOS(Evolvable Operating System) 진화형 운영체제는 센서 네트워크의 여러 가지 요구사항과 제한을 만족시키는 유연하면서도 효율적인 운영체제이다. EOS는 멀티쓰레드(Multithread) 기반의 운영체제로서 이식성과 확장성을 높이며, 표준 프로그래밍 언어인 C API를 제공하여 어플리케이션 개발을 용이하게 한다. EOS의 핵

심 기능인 진화의 개념은 기존의 단순한 어플리케이션 업그레이드와 달리, 주변 환경의 변화에 맞춰 각 센서 노드의 모든 소프트웨어(에플리케이션과 운영체제 모두 포함)를 쉽게 재구성하고 업그레이드할 수 있음을 뜻한다.

(그림 8)은 하드웨어, HAL, 커널을 포함하는 EOS의 구조를 보여준다. 하드웨어는 8비트 ATMEL 마이크로 컨트롤러와 여러 주파수 대역대의 RF 모듈을 지원하며, HAL은 이러한 다른 종류의 하드웨어를 추상화함으로써 운영체제의 이식성을 높여준다. EOS의 핵심인 커널은 쓰레드 관리, 네트워크 스택, 시각 동기화, 보안, 전원 관리 기능을 제공하며, 디바이스 드라이버는 센서 노드에 장착된 ADC, 시리얼 포트, 외부 메모리 등을 지원하고, 어플리케이션 개발을 위해서는 미리 정의된 OS API가 제공된다.

멀티쓰레드 기반의 EOS는 두 종류의 쓰레드, 마이크로 쓰레드(Micro-thread)와 일반 쓰레드



(그림 8) EOS 구조

(Generic-thread)를 함께 사용하여 자원을 효율적으로 사용한다. 마이크로 쓰레드는 공유 스택을 함께 사용하며, 일반 쓰레드는 각자 할당받은 개별 스택을 사용한다. 어플리케이션의 복잡도에 따라, 간단한 어플리케이션을 위해서는 선점가능 라운드 로빈 스케줄러(Preemption round robin scheduler)를 사용할 수 있고, 복잡한 어플리케이션을 위해서는 두 종류의 쓰레드와 하이브리드 태스크 스케줄러 (Hybrid Task Scheduler)를 이용해 메모리를 효율적으로 사용할 수 있다. 이와 더불어 멀티쓰레드 기능을 위해서 쓰레드간 동기화(Thread Synchronization), 쓰레드간의 통신(Inter-Thread Communication) 기능이 지원된다.

3. 네트워크 프로토콜

센서네트워크에서 대표적으로 사용되는 IEEE 802.15.4 표준에서 PHY계층은 868MHz, 915MHz, 2.45GHz 세 가지 대역에서 동작한다. 본 연구에서 PHY 계층은 한라산이라는 열악한 무선통신환경을 가정하고 있기 때문에 IEEE 802.15.4 표준이 정하고 있는 주파수 대역보다는 산악 환경에 보다 적합한 주파수를 선정하고자 하였으며, 전파의 회절성 및 국내 주파수 할당 관련 법규를 최대한 준수하는 범위에서 447MHz 및 910MHz 대역을 후보로 선정하였다. 이번 연구에서는 Chipcon사의 CC1100 송수신기를 이용하여, PHY계층이 447MHz 과 910MHz 대역에서 동작하도록 하였으며 기본적으로 GFSK(Gaussian filtered FSK)변조와 Manchester encoding을 사용하여 구현하였고, 4.8kBaud/38.4kBaud (2.4kbps/19.2kbps) 속도에서 테스트를 수행하였으며, 현재 100kbps 이상의 안정된 속도를 내기 위하여 시스템 튜닝중에 있다.

네트워크 계층은 베이스 스테이션으로의 효율적

이고 안정적인 데이터 전송과 저전력 에너지 소모에 가장 중요한 역할을 하는 센서 네트워크의 핵심 기술로서, 센서 노드의 에너지 고갈 및 통신 거리 변화 등의 잠재적 토폴로지 변화에 안정적으로 적응하며 동작해야 한다. 특히 사람의 직접적 관리 없이 오랜 시간 동안 동작해야하는 센서 네트워크에서 이러한 적응력은 설계의 핵심 고려사항이 된다. 한라산은 그 지리적 특성상 예측하기 힘든 잦은 기후 변화를 보이는데, 온도, 강수량, 강설량, 일조량, 습도 등의 변화는 센서 노드의 통신 상태에 직접적으로 영향을 미치므로 설계 시 이러한 불안정적 환경 상황을 충분히 고려하여 설계하였다.

본 연구에서는 센서 노드간의 통신을 지원하기 위해서, 다중 레벨 트리 기반 라우팅 프로토콜을 개발하였는데, 센서 노드들은 라우팅 알고리즘에 따라 트리 형태의 네트워크를 형성한 후 통신에 필요한 라우팅 테이블을 유지하도록 하였다. 따라서 센서 노드가 합류하고 이탈하는 등 네트워크 토폴로지에 변화가 나타난다 하더라도 라우팅 테이블은 새로운 정보에 따

〈표 1〉 패킷 타입

Packet type	Description
ROUTING_PACKET	라우팅 트리를 구성하기 위해서 베이스 노드로부터 전송되거나 부모 노드가 자식 노드를 찾기 위해 전송하는 패킷
JOIN_PACKET	자식 노드가 ROUTING_PACKET이나 INVITE_CHILD 패킷을 받고 부모 노드에게 자신이 자식 노드가 되었다는 사실을 알리기 위해 전송하는 패킷
TIME_SYNC_PACKET	시각동기화 모듈에서 사용되는 패킷
DATA_PACKET	센서 노드 → 베이스 노드 또는 베이스 노드 → 센서 노드의 데이터 전송에 사용되는 데이터 패킷
DATA_PACKET_2_NO_DES	센서 노드간 데이터 전송에 사용되는 데이터 패킷
SEARCH_PARENT	새로운 부모 노드를 찾기 위해 사용되는 패킷으로 네트워크에 이미 조인된 자식 노드가 부모 노드를 잃거나, 이미 형성된 네트워크에 조인할 때 전송하는 패킷
INVITE_CHILD	부모 노드가 SEARCH_PARENT를 보낸 센서노드를 자식 노드로 받아들인다는 사실을 알리기 위해 사용하는 패킷

라 적응할 수 있도록 설계되었다. <표 1>은 라우팅 프로토콜에서 사용하는 패킷의 종류와, 각 패킷의 용도 및 의미를 나타낸 것이다.

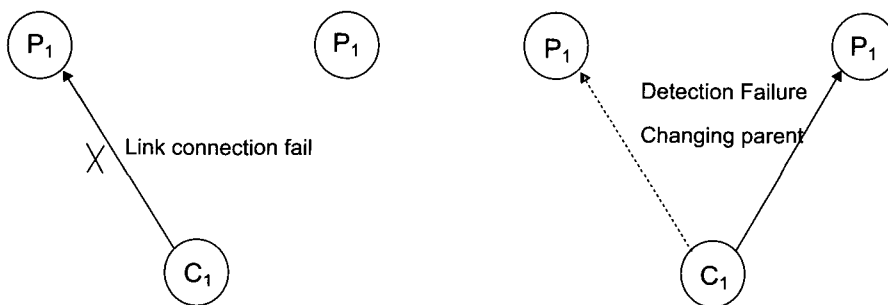
다중 레벨 트리 기반 라우팅 프로토콜은 노드의 일시적 또는 영구적 통신 불능 상태를 이웃 노드들이 탐지하고 이에 적절히 대응하여 라우팅 테이블을 변화 시키므로 한라산의 기후적 변화 등으로 인한 통신 범위의 변화 및 노드의 에너지 고갈에 따른 토폴로지의 변화에 대해 기존의 단순 트리 기반 라우팅에 비해 좋은 성능을 보인다. 예를 들어 임의의 노드가 현재의 부모 노드와 일정 시간 통신 불능 상태에 있을 경우 현재의 부모 노드와 같은 레벨에 있는 또 다른 노드로 부모 노드를 변경 시켜 라우팅을 지속 시킬 수 있도록 한다. 또한 새로운 노드가 네트워크에 추가되는 경우에는 추가된 노드가 기존의 네트워크에 있는 노드 중에서 부모 노드를 찾아 네트워크에 참여할 수 있도록 지원한다. 아래 (그림 9)는 기존 부모노드의 통신 불능 상태를 찾아낸 후 새로운 부모 노드를 선택하는 과정을 보여준다.

4. IPv6망 연동

광대역 BcN망과 풍부한 주소자원을 제공할 수 있는 IPv6, 그리고 실시간으로 넓은 지역의 다양한 정

보를 수집할 수 있는 USN 각각의 장점을 모두 포괄하는 융합 망을 위해 센서 네트워크와 IPv4 기반의 인터넷, IPv6 인터넷을 연결하는 연동 구조를 제시하고, 릴레이 라우터를 게이트웨이로 이용한 연동 구조에 대한 기능을 구현하였다. 첫 번째 구조로 릴레이 라우터를 게이트웨이로 이용하여 센서 네트워크와 IPv4 인터넷과 IPv6 기반의 KOREN망간의 연동 구조를 제시하고, 두번째로 센서 네트워크의 베이스 스테이션을 게이트웨이로 이용하여 센서 네트워크와 IPv4 인터넷과 IPv6 기반의 KOREN망간의 연동 구조를 제안하였다. 또한 제안된 연동 방안 중에서 릴레이 라우터를 게이트웨이로 구성하는 방안을 구축하고 센서 네트워크와 IPv4 인터넷과 IPv6 기반의 KOREN망간의 연동 실험을 수행하였다.

본 연구에서 제안한 연동 기법을 바탕으로 다량의 센싱 데이터를 전송하는 USN은 높은 대역폭을 요구하는 BcN망의 Killer응용이 될 수 있으며, 향후에는 BcN, IPv6, 그리고 USN을 활용한 범국가적 재난 및 재해 관리 시스템의 기본 참조 모델이 될 것으로 기대된다. 또한 센서네트워크를 통해 얻어진 기상 정보는 향후 공항, 도청 등 공공장소에 설치된 대형 스크린을 통해 일반인들에게 제공될 수 있으며 이를 통해 국립공원에 대한 관심 유도 및 관광 홍보 효과를 기대할 수 있다.



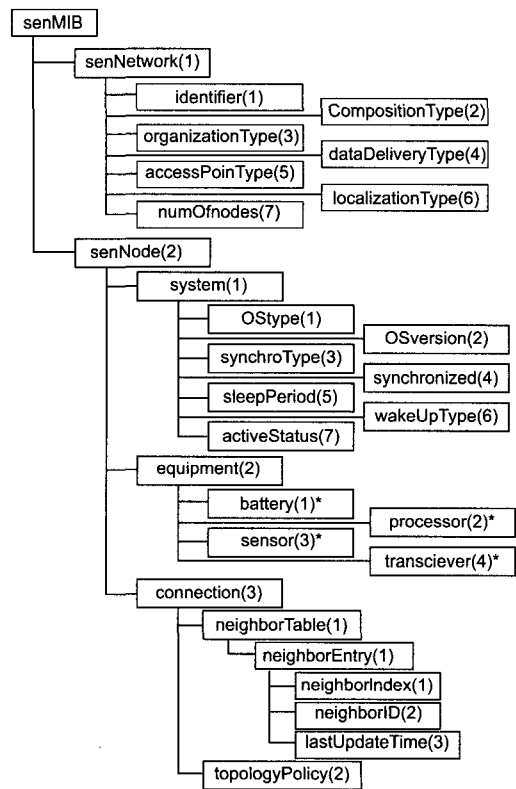
(그림 9) 새로운 부모 노드 선택

5. SNMP 기반 망관리

종래에 네트워크 관리를 위해 가장 많이 사용되어 온 SNMP(Simple Network Management Protocol)는 구현이 간단하고 사용이 용이한 장점 때문에 다양한 형태의 네트워크에서 쓰이고 있지만, 주로 IP 계층을 가진 네트워크, 그리고 전력이나 메모리 관점에서 풍부한 자원을 가진 장비에서 사용되기 때문에 IP 계층이 없고 극히 제한된 자원을 가진 센서 네트워크에 사용하기 어려운 단점이 있었다. 게다가 센서 네트워크를 구성하는 각각의 노드들의 주소 체계는 SNMP를 사용하는 기존의 네트워크와는 다르게 정해진 표준이 없고 응용에 따라 서로 다른 형태를 가지고 있기 때문에 SNMP를 센서 네트워크에 적용하는데 더 큰 어려움을 주었다. 더군다나 SNMP는 폴링 방식의 메커니즘을 사용하기 때문에 전력 소모를 최소화해야 하는 센서 장비들에게 부적합한 프로토콜로 인식되어 왔다. 하지만 SNMP는 네트워크 관리를 위해 가장 많이 쓰이는 도구이며, 확장성이 뛰어나 센서 네트워크에 적용했을 경우 관리자에게 효율적이고 효과적인 망관리 수단을 제공하기 때문에, 본 연구에서는 센서 네트워크의 전력 소모를 최소화 하면서 SNMP를 사용하여 망관리의 효율성을 향상시키고자 하였다. 이를 위해 이미 광범위하게 사용되고 있는 SNMP를 센서 네트워크에 적용하여 센서 네트워크와 SNMP 관리자 측의 시스템에 커다란 변화를 주지 않고 서로 다른 응용을 위한 센서 네트워크들을 한 곳에서 중앙 집중 관리할 수 있는 SNMP 에이전트 기반의 시스템을 설계하였다.

인터넷과 같은 기존의 네트워크와는 다르게 센서 네트워크는 다수의 노드가 같은 목적을 지니고 서로 협력하여 통신한다. 즉, 같은 목적 또는 응용을 가진 센서 노드들은 하나의 독립된 로컬 네트워크를 이루고 단위 네트워크 안에서 통신을 하는 구조를 가지는

데, 이는 곧 센서 네트워크 자체가 하나의 관리 대상 개체로 간주될 수 있다고 볼 수 있다. 물론 기존의 네트워크와 마찬가지로 센서 네트워크를 구성하는 노드들 역시 관리 대상이 된다. 이러한 특성으로 인해 센서 네트워크 관리 정보는 크게 ‘네트워크 정보’와 ‘노드 정보’ 두 가지로 나눌 수 있다. 네트워크 정보는 하나의 센서 네트워크에서 노드에 상관없이 일반적인 정보, 즉 네트워크의 관리자 정보, 네트워크의 구조 및 토폴로지 정보 등을 지칭한다. 이와 같은 정보는 네트워크 자체의 특성과 관련된 정보들로서, 최종 관리자가 해당 네트워크를 하나의 개체로 간주하여 관리할 때 필요한 정보들이다. 이에 반해 노드 정보는 센서 네트워크를 구성하는 각 노드에 대한 정보



(그림 10) 센서 네트워크를 위한 MIB의 예

를 뜻하며, 같은 네트워크에 속한 노드일지라도 서로 다른 상태를 가질 수 있는 정보를 말한다. SNMP의 표준 MIB가 일반 네트워크의 노드 관리 정보를 표현하고 있지만, 센서 네트워크 노드의 특성을 반영하기 위해서는 새로운 관리 정보를 추가해야 하는데, 이를 위해 본 연구에서는 (그림 10)에 표기된 예와 같이 센서 노드용 SNMP MIB를 정의하고 기본 기능을 구현하였다.

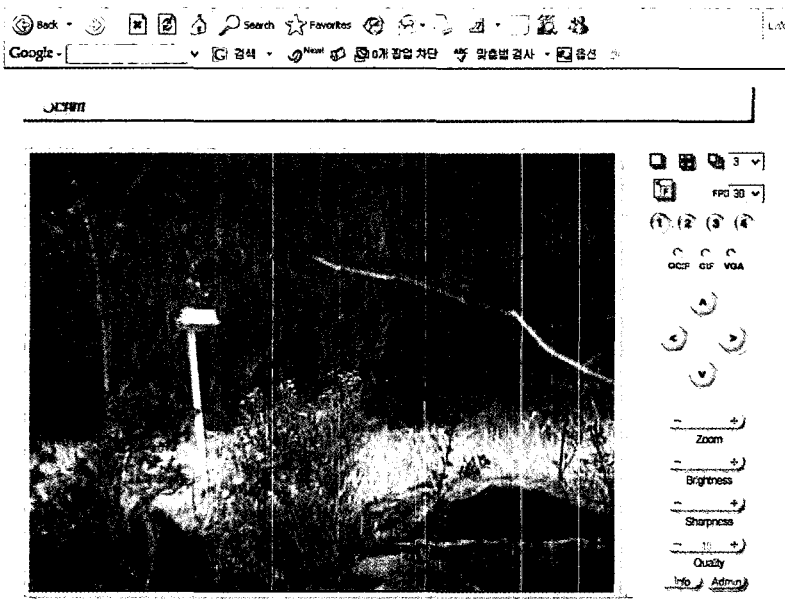
6. 네트워크 카메라 연동

본 연구에서는 센서 네트워크를 통한 환경 정보, 사용자 편의성 및 즉각적인 재난재해 상황 파악을 위해 IPv6네트워크 카메라를 개발, 센서 네트워크와 연동하였다. 네트워크 카메라는 센서 네트워크가 설치된 지역을 모니터링 하며, 현재의 상황을 실시간으로 브로드 캐스팅 한다. 또한 네트워크 카메라에 각 센서

노드의 위치를 사전에 등록하여 메모리에 보관하면서, 센서 노드들로부터 수집된 센싱 데이터의 분석을 통해 재난재해 및 비상 상황 발생 시에 해당 센서노드의 위치를 자동으로 비추도록 설정하였다. 이를 통해 중앙 관제실에서는 재난재해 발생 상황을 실시간으로 알 수 있으며, 사람의 관독이 용이한 동영상상을 제공해, 조기에 대응 조치가 가능하도록 하였다. (그림 11)은 네트워크 카메라를 통해 해당 센서 노드를 모니터링 하며, 해당 센서 노드로부터 수집된 정보와 연동하여 재난재해 상황 발생여부를 판단하는 시스템 GUI 화면을 보여주고 있다.

IV. 실증 실험

본 연구에서는 앞서 설명한 각 기능들에 대한 개발 및 단위시험을 거친 후에 한리산에서 두 차례의 통신



(그림 11) 네트워크 카메라를 통한 센서 노드 연동 및 감시

테스트와 한 차례의 통합 시험 테스트를 실시했다. 2005년 9월에 실시된 1차 통신 테스트는 산악 환경이라는 열악한 환경에서의 최대 통신거리 테스트에 중점을 두었으며, 447MHz대역과 2.4GHz 대역에 대해 시험했다. 447MHz 대역의 경우 윗세오름 부근 개방지형에서 data rate를 9.6K 수준으로 낮추었을 경우 1km 이상의 최대 통신거리를 보였으며, 산지가 험한 숲속에서는 100m 수준 정도의 성능을 보였다. 2.4GHz의 경우 직진성 과 가시성이 확보되어야 하는 관계로 사용에 부적합하다고 판단을 하였다.

2005년 12월에 이루어진 2차 통신 테스트에서는 멀티 홉 네트워크의 구성 및 최대 통신 가능 홉에 중점을 두었으며, 어리목 부근의 숲속에서 테스트를 수행하였고, 테스트 결과 447MHz 주파수대역에서 개발된 MAC과 네트워크 프로토콜을 이용하여 준비해 간 10개의 센서노드를 통해 9 홉까지 실시간으로 데이터 전송이 잘 되는 것을 확인하였다.

2번의 센서 네트워크 통신 시험 결과를 바탕으로 2006년 1월에 전체 시스템 통합 시험을 수행하였다. 이를 위해 한라산 자락의 제주대학교 인근 산에 센서 네트워크를 구축하였고, 네트워크 카메라, IPv6 터널링 서버, 컨트롤 GUI 기능을 통합적으로 검증하였

다. 각 센서 노드는 매 1분 주기로 sleep 상태에서 wake-up 상태로 깨어나서 네트워크 구성을 확인한 후 센싱 정보를 베이스 스테이션으로 전송한다. 이렇게 수집된 정보는 베이스 스테이션의 CDMA 모듈을 통해 제주대학교 KOREN 망에 연결된 IPv6 터널링 서버를 경유한 후 한국정보통신대학교의 메인 컨트롤 시스템으로 성공적으로 전송이 되었다.

V. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 2006년 말 제주도 한라산의 등산로를 따라 설치될 센서 네트워크와 BcN 기술, IPv6 기술을 통합하는 USN 임베디드 시스템 기반의 재난재해 방지 서비스의 구조를 기술하였다. 해당 세부 기술로서 USN 네트워크 구축을 위한 2.4GHz 및 447/910MHz 기반의 센서 노드 하드웨어를 제작하였고, 인터넷 연동을 위한 XScale 기반의 G/W 노드 하드웨어도 제작하였다. 제작된 하드웨어 상에서 구동되는 ANTS EOS는 멀티 쓰레드 기반의 경량 센서 네트워크용 운영체제로 기본적인 H/W, 센서 제어는 물론 쓰레드 상호간의 협업을 위한 메시지 교환이 가



(그림 12) 어리목 등산로 센서 노드 테스트



(그림 13) 테스트 중인 센서 노드

능하도록 하며, 공유자원 접근 제어를 위한 동기화 기법을 제공하였다. 센서네트워크에 적합한 저전력의 멀티홉 기반 MAC 프로토콜 및 네트워크 프로토콜로서 CSMA/CA 방식의 MAC 프로토콜 설계 및 기본 기능 구현을 마쳤고, 트리 기반의 동적 네트워크 구성이 가능한 네트워크 프로토콜을 개발하였다. 구성된 센서네트워크를 IPv6 기반의 광대역 KOREN 망과 연동하기 위하여 IPv4-to-IPv6 터널링 서버를 제주대학교에 구축하고, 센서 네트워크로부터 수집된 정보를 기반으로 해당 위치의 현재 상황을 실시간으로 확인할 수 있는 네트워크 카메라를 개발하여 인터넷을 통한 시험을 완료하였다.

2006년 연말까지 한라산 등산로에 센서노드를 설치한 후 상시적으로 운영할 계획이며, 이와 더불어 인터넷, 제주 공항/한라산 국립공원 키오스크, 관광객 대상 모바일 서비스 등의 기능을 지원하도록 네트워크 및 기능을 확장할 예정이다. 그리고 베이스스테이션은 강설, 강우, 풍향/풍속, 안개 센서등을 장착하여 보다 다양한 기상정보를 제공하는 테스트 베드를 만들 것이다.

VI. 감사의 글

본 연구는 한국전산원 연구과제인 "KOREN망을 활용한 전국적 규모의 USN 망 구축 및 응용 기술 연구"의 일환으로 수행되었습니다. 본 하르방 프로젝트에 도움을 주신 (주)시스메이트 김기현 책임연구원, 신만철 주임연구원, (주)투윈스컴 이성관 팀장, (주)SNR 노진성 이사, 제주도청 김미영 주사, 한국전산원 김일중 선임연구원, (주)신라이엔지 황순경 이사, 제주대학교 권훈, ICU ANTS 프로젝트 멤버인 김현학, 김정현, 안성진, 이강우, 김태홍, 김수현, 강지훈, 박태수, 장성훈, Dao, 그리고 한라산 국립공

원 관리사무소 이광춘 소장님께 감사를 표합니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", INFOCOM 2002
- [2] 백상현, 장민, 장덕현, 조기덕, 최양희, 권태경, "유비쿼터스 센서 네트워크를 위한 무선 센서 네트워크와 인터넷 연동 기법", SK Telecommunications Review, April. 2005
- [3] Hyunhak Kim, Daeyoung Kim, "Cluster-based Hierarchical Time Synchronization for Multi-hop Wireless Sensor Networks", Second IEEE International Workshop on Heterogeneous Wireless Sensor Networks (HWISE 2006), Apr 2006, Austria.
- [4] 김현학, 김대영, "무선 센서네트워크에서의 계층적 시각동기화", 한국통신학회(KICS 2005년 하계 종합 학술발표회), June 2005, Yong-pyong.
- [5] Cerpa, A., Elson, J., Estrin, D., Girod, L., Hamilton, M., and Zhao, J, "Habitat monitoring: Application driver for wireless communications technology", Proceedings of the 2001 ACM SIGCOMM Workshop on Data Communications in Latin America and the Caribbean (San Jose, Costa Rica), Apr. 3?5, 2001, 20?41.
- [6] Kevin A. Delin, Sensor Webs in the Wild, NASA Jet Propulsion Laboratory

- Pasadena, CA 91109, presented at SPIE's Symposium on Integrated Optics, 20-26 January 2001, San Jose, CA
- [7] T. Do, D. Kim, T. Sanchez, H. Kim, S. Hong, M. Pham, K. Lee, S. Park, "An Evolvable Operating System for Wireless Sensor Networks," International Journal of Software Engineering & Knowledge Engineering, 2005
- [8] Salman Taherian, Dan O'Keeffe and Jean Bacon, "Event Dissemination in Mobile Wireless Sensor Networks," 2004 IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems
- [9] 장성훈, 김대영, 김재연, "SNMP 를 이용한 센서 네트워크 관리 모델," Joint Conference on Communications & Information, Apr. 26-28, 2006
- [10] IPv6 포럼 코리아 기술문서, IPv6 PC Router & Host Configuration, 이경진 (K. J. Lee) ETRI, 이승윤 (S. Y. Lee) ETRI, 김용진 (Y. J. Kim) ETRI, (Linux 2.4.X) <http://www.ipv6.or.kr/TM/TM2001-004.pdf>
- [11] IPv6 포럼 코리아, technical report (TM2001-007) Cisco 라우터의 Configured Tunneling 설정방법 (for Cisco4500 & IOS version 12.1) (정재훈, 이승윤, 김용진 / ETRI) <http://www.ipv6.or.kr/TM/TM2001-007.pdf>
- [12] IEEE Standard 802.15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2003. <http://www.zigbee.org>
- [13] TinyOS tutorial <http://www.tinyos.net/tinvos-1.x/doc/tutorial/>
- [14] 한국전산원 Internet Protocol IPv6 <http://www.vsix.net/>
- [15] SYSMATE Co.,Ltd IPv4/IPv6 Dual Stack Router technical report <http://www.sysmate.com/dsr-1004.pdf>
- [16] Internet Protocol Version 6 organization, Linux IPv6 HOWTO technical report <http://www.tldp.org/HOWTO/Linux+IPv6-HOWTO/>
- [17] IEEE 802.15.4 Standard Document 2003 Oct 1st <http://ieee802.org/15/index.html>

김대영



1990년 부산대학교 전산통계학과 학사
 1992년 부산대학교 전산통계학과 석사
 2001년 University of Florida 컴퓨터공학 박사
 1992년 ~ 1997년 한국전자통신연구원 연구원
 1999년 ~ 1999년 AlliedSignal Aerospace 연구소 방문연구원

2001년 ~ 2002년 Arizona State University 컴퓨터공학과 연구 조교수
 2002년 ~ 현재 한국정보통신대학교 조교수
 2005년 ~ 현재 Auto-ID lab Korea 부소장
 2006년 ~ 현재 (주)에스엔알 대표이사
 관심분야 : Sensor Networks, Real-Time and Embedded Systems, Ad-Hoc Networks

김재언



1998년 부산대학교 전자계산학과 학사
 2000년 부산대학교 전자계산학과 석사
 2000년 ~ 2005년 데이콤 종합연구소 주임연구원
 2005년 ~ 현재 한국정보통신대학교 박사과정
 관심분야 : Sensor Network Operating System, Evolvable Real-time Systems, Linux Kernel

Thu Thuy Do



2002년 the University Degree as the Engineer of Electronics and Telecommunications, Hanoi University of Technologies, Vietnam
 2002년 ~ 2004년 Researcher of Center for Development of Information Technology, PTIT, Vietnam Post and Telecommunication Enterprise, Vietnam

2006년 한국정보통신대학교 석사
 2006년 ~ 현재 한국정보통신대학교 연구원
 관심분야 : Wireless Sensor Networks, WSN Operating System, Real-time Systems, RTOS

Poh Kit Chong



2001년 Bachelor of Electronic Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia
 2003년 Masters in Engineering Science, Multimedia University, Malaysia
 2003년 ~ 2005년 Network Software Engineer, Intel Microelectronics, Malaysia

2005년 ~ 현재 한국정보통신대학교 박사과정
 관심분야 : Networks, Real-time and Embedded Systems

유성은



2003년 한양대학교 전자전기공학부 학사
 2005년 한국정보통신대학교 공학부 석사
 2005년 ~ 현재 한국정보통신대학교 박사과정
 1999년 ~ 2002년 2월 (주)파인디지털 연구회
 관심분야 : Sensor Network Protocols, WPAN, Real-Time Scheduling

성중우



2002년 성균관대학교 정보통신공학부 학사
 2004년 한국정보통신대학교 공학부 석사
 2005년 ~ 현재 한국정보통신대학교 박사과정
 관심분야 : Home Network, Sensor Network Middleware

Tomás Sanchez Lopez



2004년 Polytechnic University of Valencia, Spain, 컴퓨터공학 학/석사
 2004년 ~ 현재 한국정보통신대학교 박사과정
 관심분야 : Sensor Network OS, Evolvable Real-Time Systems

김도현



1990년 경북대학교 전자공학과 석사
 2000년 경북대학교 전자공학과 박사
 1990년 ~ 1995년 국방과학연구소 연구원
 1999년 ~ 2004년 천안대학교 조교수
 2004년 ~ 현재 제주대학교 부교수
 관심분야 : 유비쿼터스 센서 네트워크, 모바일

컴퓨팅

김형순



1995년 고려대학교 컴퓨터학과 학사
 1997년 고려대학교 컴퓨터학과 석사
 2003년 고려대학교 컴퓨터학과 박사 수료
 1997년 ~ 현재 한국전산원 책임연구원
 관심분야 : U-Sensor Network, Mobile Computing, Concurrency Control and Recovery, e-Business