

U-캠퍼스 환경 정보 시스템 구축 및 분석을 통한 효율적인 센서 노드 운용에 대한 연구

이민재[†], 전찬식^{**}, 오승현^{***}

요 약

센서 네트워크는 다양한 응용분야에 적용될 수 있다. 환경 센서와 무선 네트워크를 이용하여 환경정보를 수집하고 생태계를 감시하는 시스템은 대표적인 센서 네트워크 응용 시스템이다. 그러나 센서 노드의 제한된 배터리 용량은 네트워크와 시스템의 수명을 결정하는 핵심 요소이며, 수집되는 정보의 품질에도 영향을 미친다. 우리는 캠퍼스에 구축된 환경정보 시스템의 실험을 통해 환경 센서 노드의 수명에 영향을 미치는 요소를 식별하고 향후 센서 네트워크 응용 시스템 구축에 유용한 몇 가지 제안을 제시하고자 한다.

A Study on Efficient Sensor Node Operations Through Construction and Analysis of U-Campus Environment Information System

Min Jae Lee[†], Chan Sik Jeon^{**}, Seung Hyun Oh^{***}

ABSTRACT

Sensor networks applications can be employed by a vast range of applications. Environmental information monitoring systems and ecosystem surveillance are representative application using sensor networks. But, limited battery capacity of sensor node is a key feature that determines lifetime of networks and system. It also affects quality of collected data. We recognized factors that affects lifetime of environment sensor nodes through the experiment of environment information system deployed over campus. We will show useful proposals for future construction of sensor network application systems.

Key words: Sensor(센서), Ubiquitous(유비쿼터스), Environment Monitoring(실시간 모니터링), Solar Panel(솔라셀 패널)

1. 서 론

USN(Ubiquitous Sensor Network)은 언제 어디서든지 원하는 대상을 측정하고 수집할 수 있는 기술로 소개되고 있으며 RFID(Radio Frequency Identification)와 함께 유비쿼터스 기술의 양대 축으로 간주되고 있다. 유비쿼터스 시스템은 제조, 물류, 유통, 의료, 국방, 교통 등 다양한 분야에서 응용시스

템이 개발·사용되고 있다. 우리 정부에서도 04년부터 RFID/USN의 중요성을 인식하고 정부주도의 시범·확산사업을 시행하고 기술 개발 및 관련법과 제도의 준비를 추진해왔으며, 많은 지자체에서도 USN 기반 시범사업을 추진해왔다. 미국, 유럽 등의 선진국들도 RFID/USN 확산을 위한 중·장기 정책을 수립하고 정부 차원의 시범사업을 전개하고 있다. 미국은 2010년 유비쿼터스 IT 환경 구현을 목표

* 교신저자(Corresponding Author): 오승현, 주소: 경북 경주시 석장동 707(780-714), 전화: (054)770-2243, FAX: (054)770-2816, E-mail: shoh@dongguk.ac.kr

접수일: 2009년 1월 30일, 수정일: 2009년 6월 25일
완료일: 2009년 9월 14일

[†] 정회원, 동국대학교 전자계산학과 석사 과정

(E-mail: lmj0254@dongguk.ac.kr)

^{**} 준회원, 동국대학교 전자계산학과 석사 과정

(E-mail: cheonvi@dongguk.ac.kr)

^{***} 종신회원, 동국대학교 컴퓨터멀티미디어학과 부교수

* 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역 혁신 인력양성사업으로 수행하였습니다.

로 연간 3억 달러 규모의 USN 프로젝트를 추진 중에 있다[1].

USN은 역할이 한정된 태그가 사용되는 RFID와 다르게 네트워크 기능을 가진 노드에 통합될 수 있는 모든 센서가 사용될 수 있다. 즉, 노드에 통합되는 센서의 확장에 따라 센서 네트워크의 역할과 범위가 무한정 확장될 수 있다. 이러한 센서는 MEMS 기술과 저전력 마이크로프로세서의 발전과 연계되어 마이크로 센서 발전에 큰 영향을 미쳤다[2-6]. 센서 노드(Sensor Node)는 다양한 센서를 내장하여 데이터를 측정하고, 네트워크 기능을 이용하여 상호간의 메시지 송/수신이 가능하다. 센서 네트워크는 센서 노드의 애드-혹(ad-hoc) 통신 기능을 활용하여 기반시설을 설치하거나 유지할 수 없는 오지, 군 시설, 위험하고 지속적인 감시가 필요한 곳, 인간의 접촉을 최소화할 필요가 있는 곳이 효과적인 대상인 것으로 인식되고 있다.

일반적으로 센서 네트워크는 노드의 센서 기능에 의해 수집된 정보를 게이트웨이(Gateway)를 통해 인터넷으로 전달하도록 구성된다. 인터넷에 연결된 제어 및 감시 서버에 의해 정보가 가공 처리되며 필요한 정보를 수집하도록 제어 메시지를 센서 노드로 보내거나 센서 노드의 기능 변경을 위해 프로그래밍 코드가 하향 전달되기도 한다. 이때 센서 노드와 게이트웨이 사이에는 868MHz/915MHz/2.4GHz 무선 주파수를 이용한 애드-혹 네트워크가 구성된다. 이때 한정된 크기의 배터리에 전력을 의존하는 센서 노드는 전력소비의 비중이 가장 큰 무선 모델의 에너지 효율적 관리가 필수적이다. 센서 네트워크의 수명도 각각의 노드의 수명에 따라 결정되므로 이 부분에 대해 많은 연구[7,8]가 수행되었다.

본 연구는 한정된 배터리 전원을 가진 센서 노드의 수명과 센서 네트워크의 수명을 연장할 수 있는 에너지 효율적인 센서 노드 사용에 대한 연구이다. 센서 노드의 수명에 영향을 미치는 요소를 식별하고 향후 센서 네트워크 구축 시 유용한 제언을 제시하고자 한다. 우리는 연구 수행을 위해 교내에 환경 감시용 센서 네트워크를 구축하고 센서 노드 사용 환경 변화에 따라 어떤 요소가 배터리의 수명에 더 많은 영향을 미치는지 관찰하였다. 또한 어떠한 에너지 절감 방법으로도 결국은 배터리의 수명이 종료된다는 점을 해결하기 위해서 태양열 충전을 위해 솔라 패널

을 도입하여 비용의 증가와 크기의 증가라는 단점에도 불구하고 네트워크의 수명에 미치는 결과를 관찰하였다.

솔라 패널을 이용한 센서 네트워크 실험은 지금까지 보고된 사례가 없는 것으로 알고 있는 새로운 연구이며, 소형의 솔라 패널이 궁극적인 배터리 문제 해결에 도움이 될 수 있음을 시사해주고 있다. 본 연구의 실증 실험은 널리 알려진 많은 시뮬레이션 결과와 상당히 다른 결과를 보여주었는데 가장 큰 이유는 센서 노드의 최적화되지 않은 제작상태와 함께 센서 노드 시스템 설계에서 에너지 관리에 더 많은 최적화 노력이 경주되지 못한 것으로 판단된다. 이러한 점은 향후 널리 사용되는 해외의 센서 노드를 이용한 실험으로 비교할 예정이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 에너지 효율성과 환경감시 시스템에 관련된 기존의 연구를 소개하고, 3장에서는 실험을 위해 구축된 U-캠퍼스 환경 정보 시스템의 구조와 실험에 사용된 센서 노드의 에너지 특성에 대하여 설명한다. 4장에서는 실험 결과 분석을 통해 센서 노드의 수명에 영향을 미치는 요소를 구분하고, 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

2. 관련 연구

Habitat Monitoring[9]은 Great Duck Island에 동식물의 서식지 모니터링을 위한 무선 센서 네트워크를 설치한 연구이다. 이 프로젝트는 4개월 동안 150개의 노드를 이용하여 각각 싱글-홉, 멀티-홉 토폴로지를 구성하고 각 노드들의 수명과 싱글-홉 및 멀티-홉에 대한 에너지 효율을 분석했다. 이 연구에서 싱글-홉과 멀티-홉으로 분리된 각각의 구역은 별도의 게이트웨이를 통해 통합 게이트웨이와 베이스 스테이션으로 연결되고 최종적으로 인터넷으로 연결된다. 베이스 스테이션은 인터넷 연결성과 데이터베이스 서비스를 제공한다. 연구에 사용된 센서 노드 즉, 모트(Mote)는 Crossbow에서 만들어진 Mica모트에 플랫폼 MicaDut를 포함한 Burrow와 Weather 모트를 사용하였으며, Burrow 모트는 전압 3.6V에서 1000mAh, Weather mote는 전압 2.8V에서 860mAh 특성을 가졌다. 모트의 수명은 Weather 모트가 싱글-홉/멀티-홉 토폴로지에 대해 140일/90일

을 기록하였고 Burrow 모트는 각각 127일/80일이었다. 멀티-홉 구조에서 각 모트가 더 많은 메시지 전송에 참여함으로써 더 빠른 에너지 소비를 기록하였으며 전체적으로 높은 에너지 효율성을 보여주었다. 싱글-홉에서는 매 5분마다 그리고 멀티-홉에서는 매 20분마다 Gateway에게 데이터를 보낸다. 그림 1은 Habitat Monitoring 시스템의 구조를 보여주고 있다.

Redwood Forest[10] 프로젝트는 산림의 목재 모니터링을 위해 센서 네트워크를 사용한 경우이다. 이 연구에서 사용한 센서 노드 플랫폼은 TinyDB와 TASK(Tiny Application Sensor Kit) 운영체제를 적용한 Mica2Dot이다. 노드는 온도, 습도, 조도 센서를 채택하였으며 70M 높이의 나무에 노드를 배치하여 44일 동안 5분 주기로 환경정보를 수집 및 분석했다. 그림 2는 TASK의 구조를 보여주고 있다. [12]는 에너지 효율적 라우팅 연구의 하나로 주기적으로 데이터가 발생하는 응용에 적합하다.

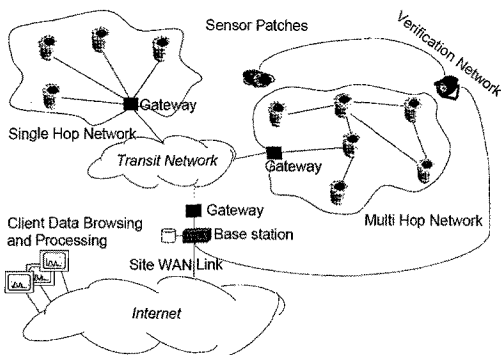


그림 1. Habitat Monitoring 시스템(9)

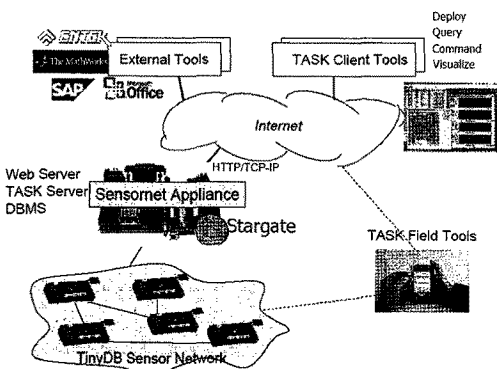


그림 2. TASK[11]

각 센서 노드들은 싱크로부터의 홉-카운트를 기준으로 데이터 경로를 설정하며, 노드의 on/off 스케줄을 작성한다. 각 노드는 데이터를 전송할 때를 제외하고는 전원을 차단하여 에너지 소비를 줄이며, 에너지를 전부 소모하여 데이터를 전달 할 수 없는 경우에는 데이터 경로 설정 및 동작주기의 wake-up/sleep 스케줄을 다시 설정해야하는 단점이 있다. 또한 미리 경로 설정이 되어 있는 노드에 의해서 데이터가 전달 되기 때문에, 에너지 소비의 불균형을 초래하여 전체적인 네트워크의 수명을 단축할 수 있다.

USN기반의 기상/해양 관측 시범망 구축 및 시범 서비스[13]는 기상청이 기상/해양관측에 IP-USN이 적용될 수 있는지 검증하기 위하여 서귀포에 무선 메쉬 네트워크(Wireless Mesh Network)와 결합된 IP-USN을 구축하고, 이어도에 해양관측을 위한 IP-USN을 구축하였다. 구축된 관측망을 이용하여 실시간 기상/해양관측 시범서비스를 제공한다. 그림 3은 기상 관측 테스트 시범 서비스 화면이고, 그림 4는 Node 설치 구성도를 나타낸 것이다.

위 서비스에 사용되는 센서는 기상 센서를 설치하기 위해 기본 부착물에 설치하고 미리 인입된 상전 전력선을 연결하여 지속적으로 전력을 공급 받을 수 있게 설치를 하였다.

그래서 기상 센서의 설치 위치는 전력 공급을 손쉽게 할 수 있고 기본 부착물이 설치가 좋은 장소로 선정되었다. 따라서 이 프로젝트는 에너지 문제에 대해서는 관계가 없는 예가 될 것이다.

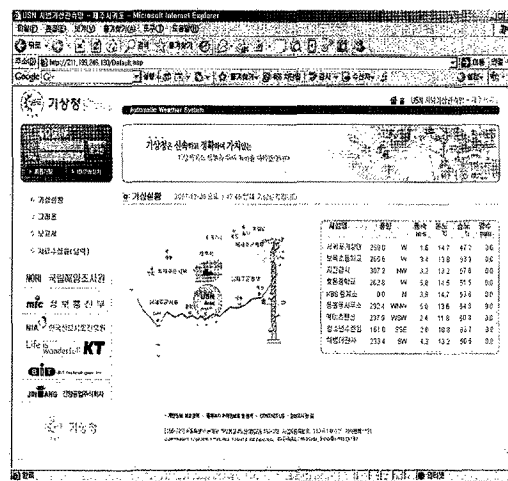


그림 3. USN 기반의 기상관측 시범 서비스

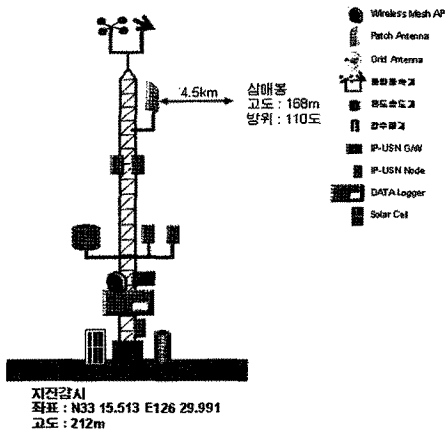


그림 4. Node 설치 구성도

3. U-캠퍼스 환경정보 시스템

센서 노드의 운영에 따른 에너지 효율성에 대한 실험을 위해 교내에 다수의 센서 노드, 게이트웨이와 인터넷으로 연결된 모니터링 서버로 구성된 환경정보 시스템을 설치하였다. 환경정보 시스템은 하나의 게이트웨이와 18개의 센서 노드로 구성되었으며, 각 센서 노드는 온·습도 및 조도 센서를 장착하고 있다. 센서에 의해 수집된 정보는 게이트웨이 후단의 모니터링 서버의 데이터베이스에 저장되고, 웹 서비스에 의해 일반 사용자에게 제공된다.

3.1 시스템 구조

그림 5는 교내에 설치된 환경정보 시스템의 구성도이다. 센서를 장착한 센서 노드와 게이트웨이에 통합 설치된 싱크 노드는 2.4GHz 주파수를 이용하여 무선 센서 네트워크를 구성한다. 싱크 노드와 게이트웨이는 유선으로 연결되었으며, 게이트웨이는 인터

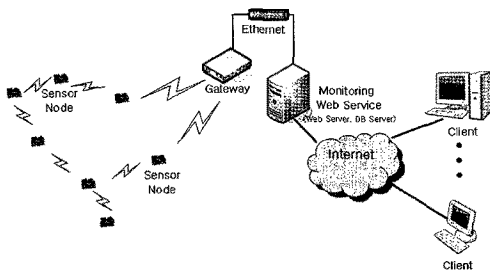


그림 5. U-캠퍼스 환경 정보 시스템 구성도

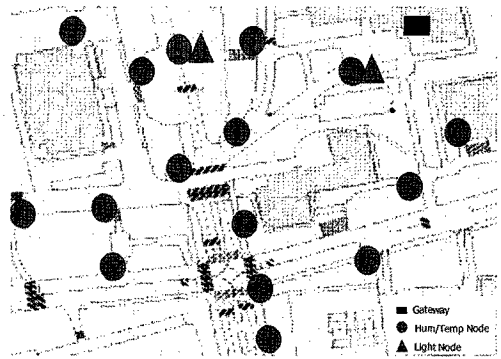


그림 6. 교내 센서 노드 설치 장소



그림 7. 온/습도, 조도 센서

넷을 통해 모니터링 서버와 연결되었다.

그림 6은 센서 노드가 설치된 위치에 대한 정보이다. 센서 노드는 교내의 주요 도로를 따라 신호등, 가로등 등 지상 3~4M 높이에 설치되었으며 솔라 패널의 원활한 사용을 위해 가급적 남향으로 설치되었다. 설치된 센서 노드는 총 18개이고, 이 중에서 2개의 노드는 조도 센서를 탑재하고 있다.

그림 7은 실험에서 사용된 센서 노드의 사진이다. 좌측의 센서 노드는 온도와 습도 센서가 박스 내에 내장된 노드이며 충전식 배터리를 내장하고 있으며, 솔라 패널이 함께 설치된 상태이다. 참고로, 이 노드는 아웃소싱으로 제작된 것이며 에너지 측면에서 최적화된 노드는 아닌 상태이다. 그림 7의 우측은 시리얼 포트로 노드와 연결된 조도 센서이다.

3.2 센서 노드의 에너지 특성

3.2.1 배터리 특성

환경정보 시스템의 센서 노드에 사용된 배터리는 보통 휴대폰에서 널리 사용되는 리튬 이온 폴리머 배터리이고 배터리의 용량은 800mAh이다. 배터리의 데이터 시트에 따른 전력 소모량(또는 잔량)에 따른 배터리 전압 그래프는 아래 그림 8과 같다. 배터리 소모에서 중요한 부분 중 하나는 배터리 소모량과

감시 센서 네트워크가 인력에 의해 계획적으로 설치된다는 점과 도로변에 설치된 기존의 많은 교통시설물이 솔라 패널을 포함하고 있다는 점을 고려하면 이러한 교통시설물의 네트워크화 등 가능한 다수의 센서 네트워크에서 솔라 패널을 고려해보는 것은 의미 있는 시도가 될 것이다. 참고로, 본 연구에서 사용한 노드와 솔라 패널은 외주 제작한 노드이다.

4.1.1 동작주기(Duty cycle)별 노드 수명

노드의 동작주기에 따른 노드의 수명의 변화를 측정하였다. 실험에 사용된 조건은 표 1과 같으며, 두 개의 노드를 실내에서 무선 데이터를 송/수신하도록 설정하고 에너지 소모량을 측정하였다.

환경정보 데이터를 측정할 때에는 지속적인 선행 데이터의 수집이 필요한 경우도 있겠지만 일반적으로 하루를 일정시간 간격으로 분할하여 단속적으로 데이터를 수집하여도 충분하다. 센서 네트워크를 이용한 타 연구에서도 모두 이러한 점과 에너지 소비를 고려하여 센서 노드의 동작주기를 설정하여 실험한다. 우리 실험에서 사용한 동작주기는 Active/Sleep 시간의 비율을 한 시간을 기준으로 10.0%(6분 활동, 54분 휴지), 16.7%, 50.0% 및 100.0%를 각각 실험하였다. 실험은 5회 반복하여 평균값을 사용하였다. 그림 10, 11은 센서 노드 수명에 대한 실험결과이다.

표 1. 실험 환경-노드 수명 측정

Parameter	Value
No. of Nodes	2
Distance of Nodes	10 M
RF Strength	6 db
Node Position	Indoor
Duty Cycles	0.1~1.0

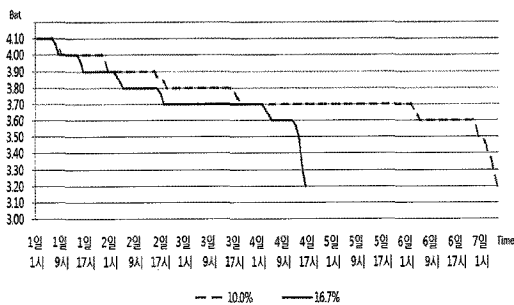


그림 10. 노드의 Lifetime 변화량 1

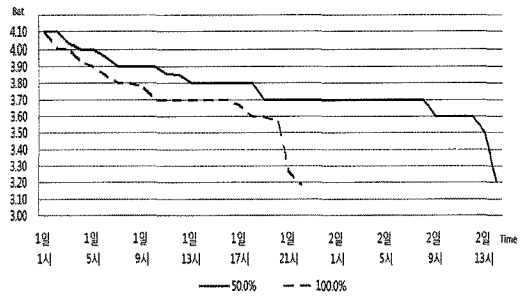


그림 11. 노드의 Lifetime 변화량 2

실험 결과에 따르면 센서 노드가 항상 동작 하는 상태 즉, 동작주기 100%의 경우 약 21시간 동안 동작하였고, 최소의 동작주기인 10%의 경우 약 173 시간 동안 동작하였다. 21시간 동안 동작한 100% 동작주기는 약 1일, 173 시간은 7.2일간 동작한 것이다. 실험에 사용된 센서 노드의 수명은 동작주기의 차이에 따라 최대 8.2배의 차이를 기록하였으며, 배터리로 동작되는 센서 노드의 수명을 잘 관리하기 위해서는 데이터 수집의 정밀도와 지연시간을 고려한 동작주기의 설정이 매우 중요한 문제임을 보여준다.

실험결과를 생체신호 감시를 위한 센서 네트워크 프로젝트인 [14]에서 사용한 Berkeley 노드와 비교하면 지속적 에너지 소비의 경우에는 미약한 성능을 보였고, 최소 동작주기의 경우에는 비슷하거나 약간 우수한 성능을 기록하였다. 이러한 결과는 실험 노드의 에너지 소비 성능이 아직은 최적화되지 않은 것을 의미하는 것으로 판단된다.

4.1.2 솔라 패널에 의한 노드 수명

앞에서 기술한 바와 같이 솔라 패널은 매우 낮은 가격의 센서 노드를 살포하는 방식의 센서 네트워크에서는 적절한 선택이 아니다. 그러나 환경감시, 기반시설 감시 등 인위적으로 센서 노드를 설치하고 관리하는 경우에는 노드의 배터리 교체 및 충전을 대신하거나 주기를 최대화하는데 솔라 패널은 적절한 선택이 될 수 있다. 우리 실험에서 센서 노드에 솔라 패널을 추가 사용할 경우 센서 노드의 수명에 어떤 영향을 미치는지 측정하였다. 실험조건은 표 2와 같다.

솔라 패널을 이용한 노드 수명 실험은 1개의 노드에는 솔라 패널을 사용하고, 다른 노드에는 솔라 패널을 사용하지 않는 방식으로 수행되었다. 실험결과

표 2. 실험 환경-솔라 패널 수명 측정

Parameter	Value
No. of Nodes	2
Distance of Nodes	10 M
RF Strength	6 db
Node Position	Window
No. of Solar-Cell Panel	1
Duty Cycles	0.5

는 그림 12에 표시하였다. 실험 결과에 따르면 솔라 패널을 사용할 경우 약 3배의 수명 차이가 발생하였다. 그림 12의 x-축은 실험의 진행 시간을 나타내는데 솔라 패널에 의한 첫 번째 충전은 15 - 2시로 약 11시간 충전이 되었고, 두 번째 충전은 16 - 2시로 약 10시간 충전되어 충전시간은 많은 차이가 나지 않지만 충전된 양의 차이는 약 2배정도 나는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 차이는 노드 설치 장소의 일조량과 당일 날씨에 따라 충전되는 양의 차이가 발생한다고 판단된다.

실험에서 얻을 수 있는 결과는 하루 중 소모되는 에너지량이 일조시간에 충분히 재충전될 수 있다는 것이다. 물론 장애물과 일조량의 차이에 따라 과소 충전이 발생하는 경우 센서 노드의 동작을 위한 최소 전압이 유지되지 않을 경우도 발생할 수 있다. 그러나 우리의 실험에 의하면 야간에 동작이 정지된 노드 도 솔라 패널이 장착된 경우 아침의 일조시간이 시작 되면 충전이 되어 다시 동작이 시작된다는 점이다. 그러나 이런 충전의 경우 야간시간을 견딜 수 있을 만큼 충분히 충전되지는 않았다. 따라서 일조량과 시간을 충분히 고려할 경우 노드 수명을 무한대로 연장 할 수 있다고 조심스럽게 생각한다.

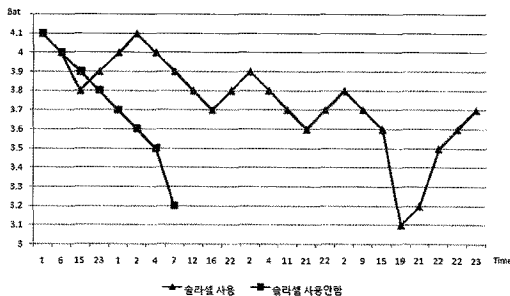


그림 12. 솔라셀 패널 사용 유/무에 따른 노드의 Lifetime 변화

4.1.3 메시지 전송량과 노드 수명

본 실험은 센서 노드의 에너지 소모 요소 중 하나인 메시지 발생과 전송량이 어느 정도 노드 수명에 영향을 미치는가를 실험하였다. 센서 노드의 구성 요소 중에서 RF 모듈은 가장 많은 에너지를 소비하는 것으로 알려져 있다[16]. 센서 노드의 휴지시간을 설정할 때에도 모듈의 정지 수준에 따라 에너지 소비량이 달라지고 메시지의 송수신에 따라 에너지의 소비 수준이 높아지는 것으로 알려져 있다. 본 실험은 이러한 메시지 처리량에 따라 실제 센서 노드의 수명이 어떠한 영향을 받는지를 살펴보고자 한다. 표 3은 관련 실험 조건을 나타내었고, 그림 13은 실험에서 사용된 메시지 전송 경로를 보여준다.

메시지 전송 실험은 노드 8에서 발생한 메시지를 노드 3, 2를 경유해서 싱크 노드로 전송하도록 설정하였다. 또한 노드 3과 2도 자신이 만든 메시지를 싱크 노드로 전송한다. 결과적으로 노드 2는 노드 8과 노드 3의 메시지 경로에 놓여있어서 중계자 역할을 한다. 각 노드에서 발생하는 메시지의 양을 a 라고 하면, 노드 8은 a 메시지 송신을 처리하고, 노드 3은 a 메시지 수신 + $2a$ 메시지 송신을, 노드 2는 $2a$ 메시지 수신 + $3a$ 메시지 송신을 처리한다. 결과적으로 노드 8은 노드 2에 비해 5배의 메시지 처리량을 갖는다. 그림 14는 노드 8과 노드 2의 수명을 측정 한 결과이다.

실험결과는 노드 2는 노드 8에 비해 5배의 메시지 전송량을 처리함에도 불구하고 약 2시간 더 긴 수명을 보여준다. 이것은 기존의 알려진 것과는 다르게

표 3. 실험 환경 조건

Parameter	Value
No. of Nodes	3
Distance of Nodes	5 M
RF Strength	6 db
Node Position	Indoor
Duty Cycles	1.0

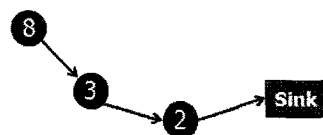


그림 13. 메시지 전송 경로

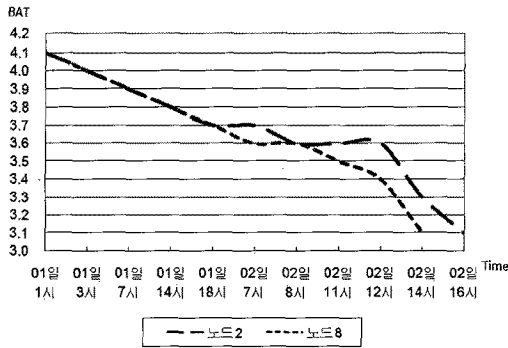


그림 14. 솔라셀 패널 사용 유/무에 따른 노드의 Lifetime 변화

전체 센서 노드의 수명에 메시지의 처리량이 단독적으로 미치는 영향이 작다는 것을 의미한다고 보인다. 그림 10, 11에서 확인할 수 있는 것처럼 동작주기의 변화는 노드의 수명에 직접적이고 큰 영향을 미친다. 실험에서 메시지 전송량이 기대보다 작은 영향을 미치는 것은 실험에 적용된 동작주기가 100%로 지속적으로 노드에 에너지를 공급하여 RF 모듈이 동작하는데 공급된 에너지 소비량을 무시할 만한 수준으로 낮춘 것으로 판단된다.

4.2 환경정보 시스템 운영 실험

교내에 설치한 환경정보 시스템은 18개의 센서 노드를 주요 도로를 따라 가로등 등에 3-4M 높이에 설치하였다. 센서 노드의 에너지 소비량에 대한 결과는 앞에서 기술하였으므로 여기에서는 메시지 통신량을 기준으로 실험결과를 살펴본다. 센서 노드의 설치는 30~90M 간격으로 시험을 통해 메시지의 송수신이 원활한 곳을 찾아서 설치하였으며 동작주기는 50%를 사용하였다. 참고로, 환경감시 시스템에 다소 어울리지 않는 과도한 동작주기를 사용한 이유는 단지 노드의 에너지 소모를 촉진시켜서 센서 네트워크의 운영이 조기에 중지되도록 하려는 것이다. 최소 동작주기를 사용할 경우 실험주기가 너무 길어지므로 다양한 요소를 실험하는데 불편하기 때문이며, 모든 요소가 안정된 후 완전한 운영실험을 할 때에는 최소 동작주기를 사용하여 실시할 것이다. 그림 15와 16은 시간의 흐름에 따른 순수 메시지 수신량이다. 각 노드는 50% 동작주기에 분당 1개의 메시지를 발생하도록 설정되어 있으므로 1시간을 기준으로 30개

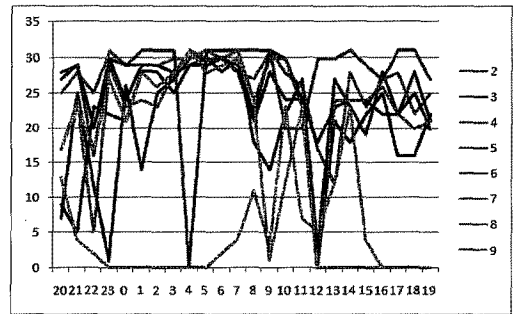


그림 15. 노드별 메시지 수신량 (노드 2-7)

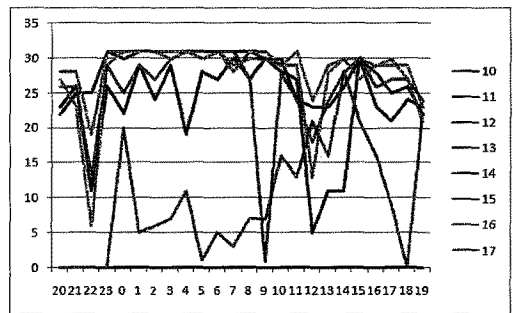


그림 16. 노드별 메시지 수신량 (노드 10-17)

의 메시지가 발생한다.

메시지 송수신을 확인하면서 노드를 설치하였음에도 불구하고 그림 15, 16에서 볼 수 있는 것과 같이 노드 설치 후 전혀 메시지가 수신되지 않는 경우가 발생하였다. 이것은 원인 파악이 곤란한 경우로 추가 노드의 설치 외에는 별다른 해결책이 강구되지 못했다. 다른 노드의 경우 메시지 수신량이 시간대별로 급격한 변화를 보이는 경우가 많았다. 이것은 노드들이 주요 도로를 따라 설치되었기 때문에 무선 주파수의 송수신이 장애물에 의해 방해받은 것으로 판단된다.

4.3 환경정보 시스템의 노드 수명에 대한 제언

다양한 센서 네트워크 응용 시스템의 중요 관심사항은 정확한 데이터의 수집과 시스템의 수명이 계획된 바와 같이 유지되는 것일 것이다. 특히 사람의 접근이 어렵거나 불가능한 경우에는 내장한 배터리의 수명이 시스템의 수명이 되므로 노드의 운영에서 에너지의 소비 효율을 적절하게 제어하는 것은 매우 중요하다. 우리는 교내에 설치한 환경감시 센서 네트

워크 시스템의 실험 및 운영 결과를 통해 일반적인 센서를 가진 센서 노드의 효율적 운영을 위해 고려해야 할 몇 가지 사항을 제안하고자 한다.

○ **적절한 동작주기:** 동작주기 즉, Duty Cycle이 노드의 수명에 미치는 영향은 매우 크므로 데이터의 수집주기를 고려한 최소한의 동작주기를 설정해야 한다. 이때 센서 노드의 라우팅과 메시지 교환방식에 따라 필요한 메시지 교환 시간도 고려해야 한다.

○ **라우팅 알고리즘:** 센서 노드의 이동성이 매우 낮은 환경감시 응용의 경우 무선통신의 장애물이 네트워크 영역에 출현할 경우 메시지 교환을 방해할 수 있다. 이때 라우팅 경로 복구를 위해 다수의 제어 메시지가 발생하므로 정적 라우팅을 비롯해서 경로 복구 과정이 효율적인 라우팅 알고리즘의 채택을 우선적으로 고려해야 한다.

○ **메시지 구조 및 개수:** 메시지 개수를 낮추기 위해 노력하는 것보다는 노드간 동기화를 통해 더 짧은 동작주기를 사용가능토록 한다. 무선 모델의 단위당 에너지 소비가 크더라도 실제 노드 수명에 더 큰 영향을 미치는 요소는 동작주기이며, 동작주기를 낮추는 것이 더 효율적이다. 그러나 노드의 동작주기는 데이터 수집 주기와 동일한 의미이므로 데이터의 정밀도에 많은 영향을 미칠 수 있으므로 신중히 고려하여야 한다.

○ **목표 수명의 설정:** 센서 네트워크를 기반으로 구성된 응용 시스템의 설치에 앞서 노드 운영 실험을 통해 노드의 에너지 소비 효율을 다시 확인하고, 시스템의 목표수명에 맞추어 동작주기를 설정한다. 다만 이때 앞에서 언급한 데이터 정밀도가 함께 고려되어야 한다.

○ **솔라 패널:** 센서 노드 수명 연장을 위해 솔라 패널의 도입을 검토할 수 있다. 솔라 패널은 노드 수명 연장에 중요한 역할을 수행할 수 있다. 응용 시스템의 성격과 일조량 등의 환경에 따라 솔라 패널은 노드에 노드 수명의 연장을 보증할 수 있다.

5. 결론 및 연구 방향

본 연구는 환경감시를 위한 센서 네트워크 시스템의 에너지 소비 요소를 식별하고 실험결과에 따라 시스템의 수명을 최적화하기 위한 몇 가지 제언을 제시하였다. 노드의 동작주기는 많은 연구에서 지적

한 바와 같이 노드의 수명에 지대한 영향을 미침을 확인하였고, 무선 RF 모델을 이용한 메시지 송수신량은 기대와 다르게 노드 수명에 많은 영향을 미치지 못하였다. 이것은 동작주기가 큰 경우에는 노드 동작에 따른 에너지 소비량이 RF 모델의 에너지 소비량보다 월등히 크기 때문으로 판단된다.

교내의 주요 도로를 따라 설치된 환경정보 시스템의 운영실험은 노드 간에 아무런 방해요소가 없는 장소에서는 최대 700M까지 통신이 가능하지만 교내에서 사용할 경우 여러 방해 요소들로 인하여 40M 거리도 통신이 잘 이루어지지 않고 경로 복구 과정이 빈번하게 발생하여 메시지가 손실되어 적절한 경로 복구를 지원하는 라우팅 알고리즘의 필요성이 대두되었다. 솔라 패널을 적용한 노드 수명 실험은 노드 수명 연장에 솔라 패널이 매우 유용할 수 있다는 것이므로, 응용 시스템의 목적과 성질에 따라 적극적으로 활용할 필요가 있다고 생각된다. 우리는 앞으로 다양한 조건 즉, 동작주기를 비롯한 센서 노드의 무선 출력 값의 최적화를 통한 에너지와 노드 수명에 대해 검토할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] 김창근, "유비쿼터스 사회를 대비한 RFID/USN 정책 방향," 한국통신학회지 (정보와 통신) 제25권 제1호, pp. 52-58, 2008.
- [2] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, Vol.38, pp. 393-422, 2002.
- [3] Katayoun Sohrabi, Jay Gao, Vishal Ailawadhi and Gregory J Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," *IEEE Personal Communications*, Vol.7, No.5, pp. 16-27, 2000.
- [4] Rex Min, Manish Bhardwaj, Seong-Hwan Cho, Eugene Shih, Amit Sinha, Alice Wang, and Anantha Chandrakasan, "Low-Power Wireless Sensor Networks," The 14th International Conference on VLSI Design (VLSID '01), pp. 205, 2001.
- [5] Rabaey, J.M. Ammer, M.J. da Silva, J.L., Jr.

Patel, D. Roundy, S., "PicoRadio supports ad hoc ultra-low power wireless networking," *IEEE Computer*, Vol.33, No.7, pp. 42-48, 2000.

[6] R.H. Katz, J.M. Kahn, K.S.J, and Pister, "Next century challenges: mobile networking for "Smart Dust"," In Proc. of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, Seattle, WA, pp. 271-278, 1999.

[7] Akyildiz, I.F., Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Network," *IEEE communications Magazine*, Vol.40, No.8, pp. 102-114, Aug. 2002.

[8] K. Romer, O. Kasten, and F. Mattem, "Middleware Challenges for Wireless Sensor Networks," *Mobile Computing and Communications Review*, Vol.6, No.4, pp. 59-61, 2002.

[9] R. Szewczyk, A. Mainwaring, J. Polastre, J. Anderson, and D. Culler, "An Analysis of a Large Scale Habitat Monitoring Application," In Proc. of ACM SenSYS, pp. 214-226, 2004.

[10] Gilman Toile, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, David Culler, Neil Turner, Kevin Tu, Stephen Burgess, Todd Dawson, Phil Buonadonna, David Gay, and Wei Hong, "A Microscope in the Redwoods," In Proc. of ACM SenSys, pp. 51-63, 2005.

[11] P. Buonadonna, D. Gay, J. M. Hellerstein, W. Hong, and S. Madden, "TASK: Sensor Network in a Box," In proc. of European Workshop on Sensor Networks (EWSN), pp. 133-144, 2005.

[12] M.L.Sichitu, "Cross-layer scheduling for power efficiency in wireless sensor networks," In proc. of Infocom 2004, Vol.3, pp. 1740-1750, 2004.

[13] 국립해양조사원, "USN기반 기상/해양 관측 시범망 구축 및 시범서비스 제공," (주)KT미래기술연구소, 2007.

[14] Tia Gao, Dan Greenspan, Matt Welsh,

Radford R. Juang, and Alex Alm, "Vital Signs Monitoring and Patient Tracking Over a Wireless Network," In Proc. of the 27th Annual International Conference of the IEEE EMBS, Shanghai, 2005.

[15] F. Zhao and L. Guibas, *Wireless Sensor Network: An Information Processing Approach*, Elsevier/Morgan-Kaufmann, 2004.

[16] 김현서, 정원수, 윤찬영, 오영환, "무선 센서 네트워크에서 통신 환경에 따른 에너지 효율적인 Cross Layer Protocol에 대한 연구," 한국통신학회 논문지 제33권 제4호, pp. 113-123, 2008.



이민재

2008년 2월 동국대학교 컴퓨터학과 공학사
2009년~현재 동국대학교 전자계산학과 석사과정
관심분야 : 센서 네트워킹, 라우팅



전찬식

2008년 2월 동국대학교 컴퓨터학과 공학사
2009년~현재 동국대학교 전자계산학과 석사과정
관심분야 : 센서 네트워킹, 센서 에너지 효율



오승현

1988년 동국대학교 전자계산학과(학사)
1998년 동국대학교 컴퓨터공학과(석사)
2001년 동국대학교 컴퓨터공학과(박사)
1987년~1996년 (주)대우엔지니어링

어링
2002년~현재 동국대학교 컴퓨터멀티미디어학부 부교수
관심분야 : 실시간 프로토콜, 차세대 네트워크, 센서 네트워크