미래선도기술
이슈분석보고서

센서 네트워크 기술

에너지 효율성 측면에서의 이슈 기술 분석

김기일, 동향정보분석팀

한국과학기술정보연구원
Korea Institute of Science and Technology Information
www.kisti.re.kr

미래선도기술 이슈분석보고서는 혁신형 중소기업 정보분석 지원사업의 일환으로 작성된 보고서로서, 유망 기술에 대한 이슈분석을 통해 국내 기업들이 자사에 적합한 사업아이템 발굴 기회를 극대화 하는데 목적이 있다. 이슈 분석 대상은 글로벌 동향 브리핑(GTB) 사업에서 축적한 약 10년간의 글로벌 모니터링 정보를 키워드 빈도분석 후 수요 조사를 통해 정하였다. 또한 국내외 연구개발동향, 산업동향 및 기술/실용화/파급효과 등의 측면에서의 이슈제기 및 분석을 해당분야 전문가와 공동으로 수행함으로서 수요자 중심의 보고서가 되도록 노력하였다.

2006 미래선도기술 이슈분석보고서

• 나노셀룰로오즈 보강 복합재료	• 광촉매 박막제조기술
• 차세대 하드디스크 HAMR	• 산업용 무선 필드버스
• 멀티페로익스(Multiferroics)	• P2P 네트워크
• 탄소나노튜브	• 센서네트워크 기술
• 휴대용 연료전지	• 온라인 게임
• 칩내장형 임베디드 기술	• 임베디드 기술
• 유전자 치료	• 십진 부동소수점 연산기
• 열화학적 복합전환 공정	• 게임산업
• 자기 냉장고	• 나노소재를 이용한 전자소자
• 유기 반도체 태양전지	• 유기반도체(Organic Semiconductors)
• 중전기기용 나노절연재료	• 공기오염센서
• 무선 통신망간의 간섭	• 위성항법시스템 시험장(GATE)
• 이동통신-무선랜 통합망의 보안	• 위성합법시스템 소프트웨어 수신기
• 해외선진국 반도체장비 기술동향	• 광촉매의 성능 및 응용 기술 현황
• 동유럽의 VoIP 사업현황	• 해외 선진국의 DMB/DAB 기술동향
• 지능형 자동차에 사용되는 텔레매틱스 기술동향	• 신약개발을 위한 RNAi 제품 현황
• 주요 선진국의 냉동•공조 기술 현황	• 해외 선진국의 위성항법 시스템 기술 동향
• 영상진단기기 및 초음파영상진단기기 제품 현황	• 최근의 게임시장 동향
• 해외 주요국의 디지털 전자제품 동향	•해외 주요국의 디지털 전자제품 동향

Contents

1 **서론**

센서 네트워크 기술 개요 — 05
센서 네트워크 기술의 특징 — 06
이슈 분석의 필요성 — 08

2 **연구 개발 및 시장 동향**

국내외 연구 개발 동향 — 10
센서 네트워크 에너지 관리 연구 동향 — 11
국내외 산업 개발 동향 — 14

3 **이슈 분석**

분석 배경 — 20
센서 네트워크 기술의 응용 분야 및 파급 효과 — 21
센서 네트워크에서의 에너지 관리 기술의 향후 이슈 — 22

참고 문헌 — 25

서론

1

- 센서 네트워크 기술 개요
- 센서 네트워크 기술의 특징
- 이슈 분석의 필요성

1 서론

센서 네트워크 기술 개요

○ 센서 네트워크는 주변 현상이나 이벤트를 발견하는 동시에 정보의 수집 및 데이터 처리, 관심 있는 사용자들에게 센싱된 정보의 전달을 목적으로 하는 네트워크로 정의됨 [참고문헌 1-4]

○ 센서 네트워크는 작은 크기, 적은 메모리 및 낮은 능력의 프로세스로서 무선 채널을 통한 통신 기능을 가진 센서 노드들로 이루어진 네트워크를 일컬음

1 서론

| 센서 네트워크 기술의 특징

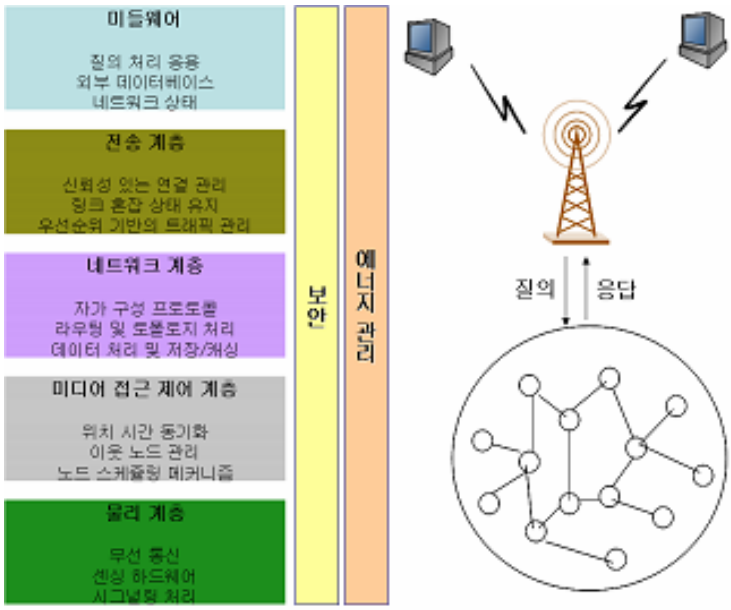
○ 자가 구성 능력
- 네트워크를 구성해 주는 관리자나 특별한 에어전트 없이 센서 노드들의 협력을 통하여 자동으로 네트워크의 설정 및 구성이 이루어짐

○ 짧은 거리의 브로드캐스트 능력 및 멀티 홉 라우팅
- 배터리 및 짧은 거리내의 무선 통신으로 인하여 노드의 반경의 제한적이며 이로 인하여 데이터 수집 장소까지의 멀티 홉 라우팅 메커니즘이 필수임
- 멀티 홉 라우팅 메커니즘을 적용함으로써 각 센서 노드는 기본적인 센싱 기능 뿐만 아니라 데이터를 포워딩 할 수 있는 기능의 추가가 요구됨

○ 밀집된 구현 및 센서 노드들간의 긴밀한 협조
- 센서 노드들은 임의의 지역에 항공기로부터 뿌려지는 형태와 같이 실제 배치되며 네트워크는 밀도에 따라 큰 차이점을 보이게 됨. 특히, 밀도가 높은 형태의 네트워크가 존재하게 되므로 이에 대한 고려가 필수적이라 할 수 있음
- 높은 밀도는 무선 통신의 간섭을 유발하기 때문에 노드들간의 통신을 위한 동기화를 반드시 고려하여야 함

○ 노드의 고장이나 무선 채널의 감쇄로 인한 토폴로지의 변화
- 센서 노드들은 외부적 환경이나 배터리 소멸들로 인하여 고장이 자주 일어날 것이기 때문에 이로 인한 토폴로지 변화에 신속하게 대응함으로써 네트워크를 유지시켜야 함
- 배터리 뿐만 아니라 주변 환경의 변화 등으로 인하여 무선 채널의 감쇄가 빈번하게 유발되게 되며 이는 결과적으로 토폴로지의 다양한 변화를 야기시킴

○ 에너지, 전송 전력, 메모리, 컴퓨팅 능력의 제한
- 기존의 통신 노드와는 달리 모든 자원 측면에서의 제한을 가진 센서 노드들이기 때문에 복잡한 알고리즘 및 구조는 배제되어야 함
- 제한된 능력을 극복하기 위하여 다양한 알고리즘들이 제안될 수 있으나 이 역시 복잡성 측면에서 고려되어야 함



[그림 1] 센서 네트워크 통신 서비스 및 네트워크 구조

자료 출처: M. Tubaishat, S. Madria, "Sensor Networks : An Overview"

1 서론

이슈 분석의 필요성

○ 에너지 관리의 중요성
- 에너지 제약으로 인하여 노드의 실패 및 네트워크 토폴로지의 빈번한 변화로 인하여 토폴로지 유지를 위한 제어 메시지 증가를 유발함
- 토폴로지 변화는 센싱된 데이터 전송의 신뢰성에 직접 관련이 있으며 특정 노드의 에너지 소비로 인하여 네트워크의 분할을 야기할 수 있음
- 특정 노드의 배터리 소비로 인하여 전체 네트워크의 기능이 마비될 수 있으며 이는 새로운 노드의 투입을 야기하므로 관리 비용의 증가를 유발함

○ 이슈 분석의 필요성
- 에너지 관리의 경우, 하나의 메커니즘으로 동작하기 보다는 크게 노드 레벨, 통신 프로토콜 레벨로 나누어지며 이들의 유기적인 조합 및 결합이 필수적이므로 이러한 기술에 대한 이슈 분석이 필수적이라 할 수 있음
- 또한, 네트워크의 수명 연장을 위한 네트워크 측면에서의 연구로써 데이터 군집, 클러스터링 메커니즘 등이 존재하고 있으며 이를 위하여 기존의 멀티캐스트 트리 메커니즘들을 적용 시키는 등 네트워크 분야의 다양한 기술의 집약체로 볼 수 있음
- 단순한 연구 동향 뿐만 아니라 실질적인 문제점 제기를 통하여 향후 기초 기술 개발 자료로의 활용이 기대됨
- 추후 표준화 활동들을 통한 지적 재산권 확보를 위한 연구 지침서로의 활용이 기대됨

연구 개발 및 시장 동향

2

- 국내외 연구 개발 동향
- 센서 네트워크 에너지 관리 연구 동향
- 국내외 산업 개발 동향

2 연구 개발 및 시장 동향

국내외 연구 개발 동향

○ 국내 연구 동향 [참고문헌 5-7]
- 한국전자통신연구원의 텔레메틱스/유비쿼터스 센서 네트워크 연구단에서는 센서 네트워크 기술을 우리사회를 u-society로 전환할 핵심기술이자 차세대 성장산업의 경쟁력을 좌우하는 핵심요소기술로 정의하고, U-Life 사회구현을 위한 연구를 수행 중에 있음
- 정보통신부는 RFID/USN 기술을 이용하여 모든 사물에 부착된 RFID 태그 또는 센서를 초소형 무선장치에 접목함으로써 이들 간의 네트워킹과 통신으로 실시간으로 정보를 획득, 처리, 활용하는 네트워크 시스템으로 기존의 사람 중심에서 사물까지 정보화의 지평을 확대하는 새로운 패러다임의 유비쿼터스 IT 기술에 초점을 맞춤. 특히, 차세대 신규 서비스로서의 RFID와 인프라로써의 USN은 정보통신부가 국민소득 2만불 시대를 여는 핵심프로젝트인 IT839전략의 일환으로 집중 육성하고자 심혈을 기울이고 있음
- 전자 부품 연구원은 센서 네트워크의 무선통신 산업에 필요한 핵심부품 및 RF모듈의 개발을 통하여 MEMS 기술 개발 등 물리적 통신 기술 연구를 수행
- 광주과기원 및 정보통신대학교대학원을 중심으로 대규모 분산센서네트워크 및 센서 노드 개발, 센서 네트워크 운영체제/미들웨어 등 센서 네트워크 분야의 연구를 진행하고 있음

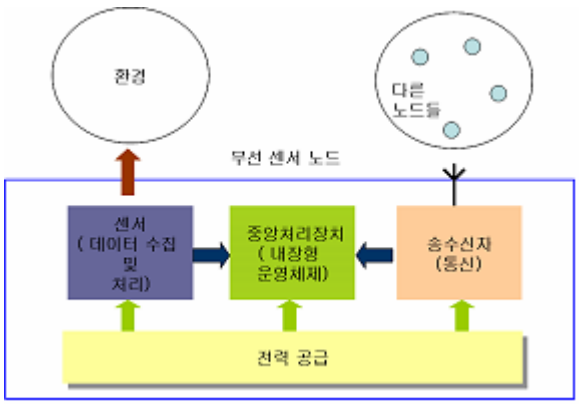
○ 국외 연구 동향 [참고문헌 8-11]
- 미국은 DARPA 주도로 국방용 기술 및 애플리케이션 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 국토방위와 환경 관측 목적으로 한 광역 애플리케이션에 대한 연구가 진행되고 있음. 민간에서는 물류기반 식별 코드 및 미들웨어 개발 연구 및 응용이 이루어지고 있으며, 특히 주요 글로벌 IT 기업들의 자체적인 연구 개발이 활발히 이루어지고 있음
- 1999년에 설립된 Auto-ID Center는 MIT, 캠브리지 대학을 비롯한 세계 유수의 5개 대학과 약 100개의 글로벌 기업들이 컨소시엄을 형성해 기술개발과 표준화를 담당하고 RFID 표준화 코드로 EPC 전자 상품 코드를 개발함.
- 유럽은 유럽 각국의 협력을 통해 USN 연구를 진행하고 있음. 스위스의 연방 교육과학청과 유럽연합위원회가 지원하는 DCI (Disappearing Computer Initiative)의 연구 중 하나로 Smart-its 프로젝트를 진행 중이며 DCI는 유럽연합의 제 6차 Framework Programme(FP6)의 추진 정책 중 하나임.
- 일본의 민간에서도 새로운 센서 네트워크 기술을 이용한 홈시큐리티, 빌딩 안전 관리 등에 관한 개발 연구가 활발히 진행되고 있으며, 대표적인 사례가 현재 약 390여 글로벌 업체들이 참여하고 있는 T-Engine 포럼의 TRON (The Real-Time Operating System Nucleus) 프로젝트로 모든 물건에 컴퓨터를 삽입하여 네트워크화하여 유비쿼터스 컴퓨팅 환경 실현을 위한 다양한 기기의 개발을 표준화, 효율화하는 프로젝트로 개발됨.
- 또한 T-Engine 포럼은 유비쿼터스 ID Center를 설립하여 RFID, 스마트 카드, 액티브 칩 등을 이용, 유비쿼터스 환경에서 사물과 위치를 자동으로 인식하는 ID 시스템 체계를 마련하고자 연구 중에 있음

2 연구 개발 및 시장 동향

센서 네트워크 에너지 관리 연구 동향

○ 노드 레벨 에너지 최소화 기술 [참고문헌 12]
- CPU와 I/O 디바이스와 같은 여러 가지 구성 요소의 에너지 사용을 최소화하기 위한 기술로 구성됨
- 프로세서 에너지를 줄이기 위한 동적 전압 스케일 (Dynamic Voltage Scaling)과 I/O 기반의 동적 전력 관리 (Dynamic Power Management) 기술에 기반하고 있음

○ 에너지 효율적 통신 기술 [참고문헌 13]
- 불필요한 네트워크 트래픽을 급격하게 줄임으로써 에너지의 소비를 줄임
- 자세하게 센싱된 정보의 전송의 경우 전송되는 많은 데이터 양의 비례하여 에너지가 소비되게 되며 목표물 탐지, 지역화, 분류과 같은 센서 네트워크에서는 자세한 정보를 위하여 정해진 노드들의 집합에 현명한 질의를 함으로써 에너지 절약이 가능. 즉, 중복된 데이터의 전송에 사용된 에너지를 줄임으로써 네트워크의 트래픽까지 같이 줄여지게 됨



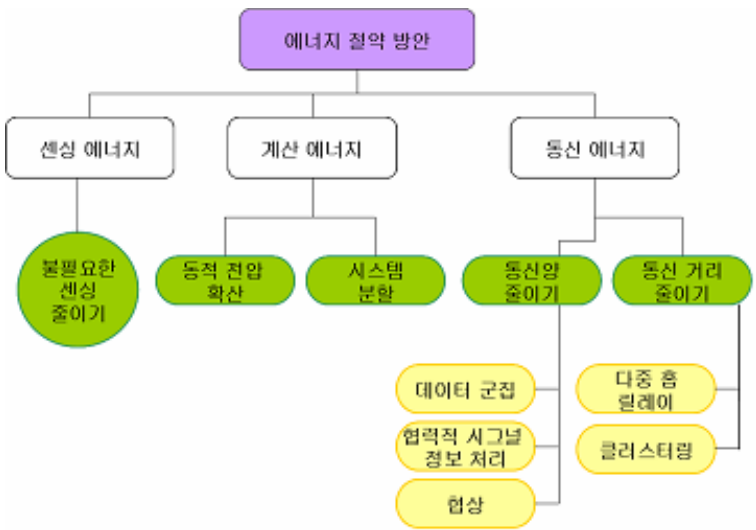
[그림 2] 센서 노드의 일반적 구조

자료 출처: G. Asada et al., "Wireless Integrated Network Sensors : Low Power Systems on A Chip,"

가. 노드 레벨 에너지 최소화 기술

○ 국내외 연구 동향

- 현재 DPM에 대한 연구 동향은 크게 CPU 중심의 DPM과 I/O 중심의 DPM으로 나누어지고 있음
- 프로세서에 제공되는 전압을 동적으로 조절함으로써 전압 전력 제어 기능을 프로세서에 탑재하는 DVS (Dynamic Voltage Scaling) 기술이 연구 중에 있음
- I/O 중심은 DPM은 실제 동작 과정에 높은 전력을 사용하고 휴면 상태에서는 낮은 전압을 사용할 수 있도록 디바이스가 많은 전력 상태를 유지하도록하며 이를 I/O 작업 수행에 적용토록 하는 연구가 진행 중에 있음
- UCLA에서는 노드 레벨에서 응용으로부터의 시스템 레벨의 힌트를 통하여 에너지 관리 문제를 해결하기 위한 연구를 수행. 이를 위하여 에너지 소비 패턴과 실제적으로 각 응용들이 에너지 소비를 어떻게 실시간으로 측정할 수 있는 문제를 기반으로 사용 가능한 에너지를 예측함으로써 수락 제어 알고리즘으로 발전을 도모하고 있음 [참고문헌17]
- Virginia 대학에서는 에너지 효율적인 감시 시스템을 위한 프로젝트인 VigilNet에 대한 연구 수행 중. 본 프로젝트는 미들웨어 서비스들의 전체 집합에 대한 디자인 원리로써의 에너지 인지 시스템 개발, 에너지-효율성과 시스템 성능간의 상관 관계에 따른 동적 제어 메커니즘, 실제 구현을 통한 문제점 파악을 목표로 하고 있음



[그림 3] 센서 네트워크의 에너지 절약을 위한 기술 개발 동향

자료 출처: Imad Mahgoub, Mohammad Ilyas, *Sensor network Protocols*

나. 에너지 효율적 통신 기술

○ 국내외 연구 동향

- IEEE 802.15.4 WPAN (Wireless Personal Area Network)은 적은 전력 구현을 위한 많은 기능에 대한 연구가 진행 중임. 물리적 계층에서는 높은 데이터 전송률을 가지면서도 적은 기호율을 가진 시그널링 메커니즘을 연구 중이며 비대칭 통신 응용, 추가적인 슈퍼프레임, 추가적 배터리 확장 모드들에 대한 연구는 데이터 링크 계층 연구 그룹에서 진행 중에 있음. 또한, Zigbee 협회에서는 적은 전력 동적 동기화 메커니즘 뿐만 아니라 에너지 소비가 적은 보안 알고리즘들에 대한 연구가 활발히 진행 중임
- 캐나다의 Queen 대학을 중심으로 먼저 무선 미디어 접근을 위한 Medium Access Layer에서의 에너지 소비를 줄이기 위한 방안으로 크게 중앙 집중적 MAC 프로토콜, 분산된 MAC 프로토콜, 하이브리드 MAC 프로토콜에 대한 연구가 진행 중에 있으며 이들의 목표는 충돌이나 혼잡으로 인한 재전송 줄이기, 유휴 채널 센싱, 제어 메시지로 인한 오버헤드, 범위내 데이터의 무조건 수신을 줄이기 위한 방안으로 크게 요약됨
- 네트워크 계층에서의 연구는 크게 데이터 전송 프로토콜과 정보 수집에 대한 연구로 나누어짐. 데이터 전송 프로토콜에 관한 연구의 초점은 크게 실제 응용 시나리오에 따른 다른 데이터 전송 메커니즘 개발, 라우팅 접근 방법, 에너지의 소비를 줄이는 주체를 누구로 할 것인지에 대한 연구 분야로 세분화 됨. 또한, 데이터 처리에 대한 연구는 네트워크 형태를 평면적/계층적으로 구성할 것인지에 대한 연구에서 시작함
- 국내에서는 연세대, 고려대, 정보통신대학원대학교 등을 중심으로 MAC 및 에너지 상황 인지 라우팅 메커니즘에 대한 연구가 진행 중에 있으며 주요 연구 내용은 클러스터링 기반 메커니즘과 메시지의 수의 감소 유발을 위한 프레임워크로 요약됨

2 연구 개발 및 시장 동향

국내외 산업개발 동향

○ 국내 산업 개발 동향 [참고문헌5-8]

- 한국전자통신연구원은 향후 유비쿼터스 환경구축의 기반을 위한 초소형 운영체제인 "Nano Qplus* Ver.1.0"을 개발하고 안정성 및 신뢰성 검증을 위해 "원격 가스안전 모니터링 시스템"에 우선 적용하여 Nano Qplus가 탑재된 무선 센서노드를 사용한 산업용 무선 센서 네트워크에 안정적으로 적용 가능함을 증명함. 한중일 공개 소프트웨어 포럼에서 Nano Qplus를 소개할 계획에 있어 세계시장을 노크하는 중요한 시점으로 파악돼 주목되고 있음
- 삼성전자/삼성종합기술원/삼성전기 등의 산업체에서도 IEEE 802.15.4 기반 ZigBee 기술을 중심으로 센서네트워크 기술을 연구 중이지만 학계에 보고되었거나 공개된 핵심 기술 내용이 미비한 상황임
- 미국 등의 기술 선진국들은 능동형 센서네트워크 기술을 연구의 초점으로 맞추고 있는 반면, 국내 산업계에서는 RFID 전자태그와 같은 수동형 센서네트워크 기술을 주로 개발하고 있다. 향후 산업화를 고려하여 활발하게 연구가 이루어지고 있는 국외의 경우와 달리, 국내의 능동형 센서네트워크 관련 기술은 아직 초보적인 수준에 머무르고 있는 실정임
- 맥스포(www.maxfor.co.kr)는 전자부품연구원에서 TinyOS를 지원하는 하드웨어 플랫폼(TIP30C) 기술을 이전받아 판매 중이며, 한국전자통신 연구원의 기술을 이전받은 옥타콤(www.octacomm.net), 그리고 라디오펄스(www.radiopulse.co.kr), 오렌지로직 등의 회사들이 센서 네트워크 하드웨어를 및 솔루션을 판매 또는 계획 중.
- 센서 노드 구현 기술을 보유하고 있는 한백전자의 센서 플렛폼의 경우, 마이크로 제어 유닛으로 ATmega128 CPU를 사용하고 RF는 Chipcon의 CC2420을 사용함. 특징으로는 기본으로 온도, 조도, 습도 센서, RTC를 모드에 장착하고 있는 동시에 다양한 옵션 센서 모듈을 지원하는데 기상센서, 방법센서, 홈 오토메이션 센서 모듈, 위치추적 센서, 구조 역학 센서, 바이오 센서, 자동차 센서 등의 응용 모듈을 제공. 센서 노드 OS의 경우 TinyOS와 μC/OS를 지원함
- 휴인스의 센서 노드 플랫폼인 UStar-2400은 Chipcon CC2420 RF 모듈을 사용하여 2.4GHz ZigBee 통신을 가능하게 하고 At-mel의 Atmega128L 프로세서를 장착하고 있다. 저전류 소모로 배터리 모니터링 기능을 제공하며 저전력 설계 보드를 사용 low-power management 기능을 제공한다. TinyOS와 TinyDB를 지원하며 UStar-Dev라는 emulator를 포함한 개발환경과 센서 네트워크 응용프로그램 등을 지원해줌.

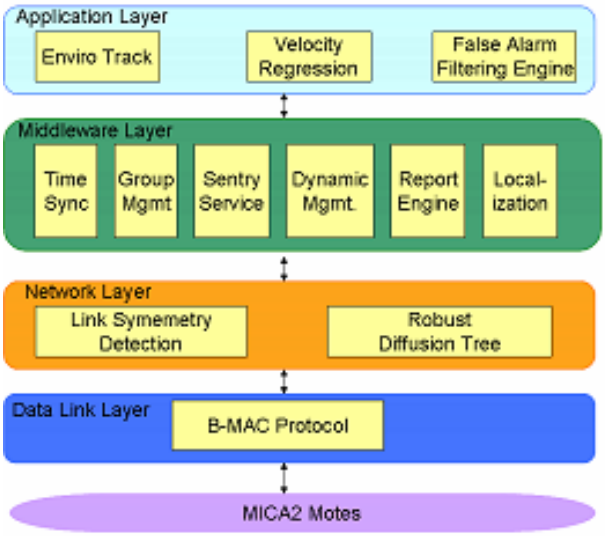
○ 국외 산업 개발 동향

- 인텔은 학계와 산업계 등과의 협력을 통해 다양한 센서 네트워크 프로젝트들을 적극적으로 진행시키고 있음. 주요 연구 프로젝트들로는 다양한 센서의 각각의 정보 취합 및 에너지 낭비 방지를 위한 연구, 초소형 정보전달 장치인 모트를 통한 센서 네트워크 구성, 비전문가를 위한 바른 센서 네트워크 구축 솔루션인 Tiny Application Sensor Kit이 있음.
- IBM은 스위스 취리히연구소에 단대단 센서 네트워크 테스트베드를 구축하고, 기업 컴퓨터 망과 인터넷을 센서 네트워크에 통합하여 센서부터 마지막 응용 애플리케이션에 이르기까지 다양한 솔루션 제공을 목표로 Zurich Sensor Network 프로젝트를 진행중
- 히타치는 2005년 7월에 사내 벤처회사인 Wireless Venture Company에 센서 네트워크 사업개발부를 마련하고 센서 네트워크 사업을 적극적으로 추진해오고 있음. 히타치는 이미 2004년 11월 YRP Ubiquitous Networking Lab과 공동으로 전지탑재형으로는 당시 최소형 센서 노드를 개발하였으며, 2005년 12월에는 휴대용 및 손목밴드형 AirSense를 개발하여 2006년 1월 상용화에 성공. 히타치는 센서 노드의 소형화 및 고밀도에 주력하여 향후 1cm3 이하의 센서 노드 개발을 목표로 하고 있으며, 자사의 AirSense를 주력으로 업종별로 공통 미들웨어 및 애플리케이션을 개발, 패키지화하여 판매할 계획

가. 노드 레벨 에너지 기술 산업화 동향

○ 국내외 산업 기술 동향

- Duke대학에서는 2개의 상태를 가지는 I/O 디바이스의 스케쥴링을 통하여 I/O 디바이스에 사용되는 에너지를 절약하고자 하는 LEDES 알고리즘 개발/산업화 하였음. 또한, 이를 기반으로 MUSCLES이라 불리는 다중 상태 I/O 디바이스를 위한 적은 전력 디아비스 스케쥴링 기술 개발 완료 [참고문헌18]
- Cornell 대학의 Yao와 Gehrke가 발표한 Cougar은 센서 네트워크의 정보에 쿼리를 통해 접근하도록 구현한 미들웨어로서 쿼리를 각 노드에 분산시켜 쿼리 결과 계산에 필요한 에너지를 분산시킬 수 있는 시스템 개발 [참고문헌19]
- 일본 전기 주식회사는 전력 절약 기술을 살린 전력 절약 멀티 호프 방식에 대해 기술을 개발함. 이 기술은 인접 노드로부터의 중계 패킷을 상시 수신할 수 있도록 대기함으로써 이에 대한 전력소비가 지배적, 이에 간헐 수신 대기 회로에 의해 전력 절약화를 꾀할 수 있는 기술로 초기 시작 환경에서는 1/40까지 전력 절약화 달성
- 센서 네트워크를 위한 운영 체제 중에 하나인 TinyOS는 새로운 버전인 TinyOS 2.0 beta를 발표하면서 Power Management of Non-Virtualized Devices 부분을 강화함으로써 에너지 효율성을 강조함. [참고문헌20]
- 한국의 전자통신연구원에서는 사용단말이 소형화, 휴대화 될수록 사용시간을 늘리기 위해 전력관리의 중요성은 더욱 부각되고 있는 점에 착안하여 센서 노드 플랫폼인 Qplus에서는, CELF(Consumer Electronics Linux Forum)에서 논의하는 능동형전력관리(Dynamic Power Management) 프레임워크 위에서 시스템의 워크로드를 분석[참고문헌25]



[그림 4] VigilNet 시스템 구조

자료 출처: T. He et al., "VigilNet: An Integrated Sensor Network System for Energy-Efficient Surveillance,"

[표 1] 센서 네트워크 관련 연구 분야 및 연구 기관

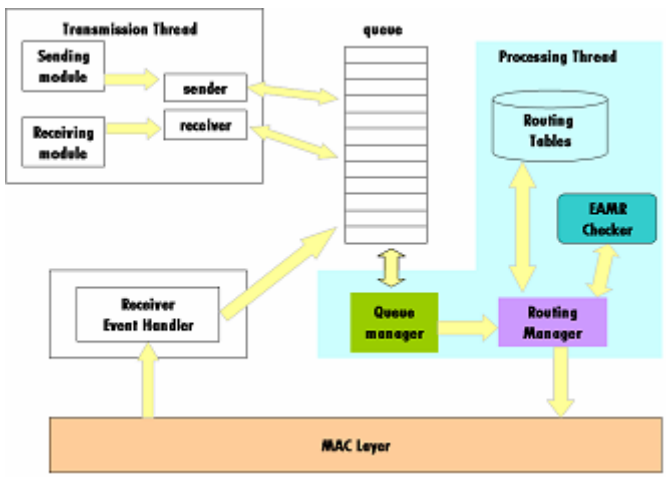
분야	분류	내용 (연구 기관)
센서네트워크 운영체제 기술	운영체제	TinyOS(UC Berkeley), SOS(UCLA), MANTIS(Colorado), MagnetOS(Cornell), SensorWare(UCLA), EYES(University of Twente), TRON(동경대)
	프로그래밍 시스템	nesC(UC Berkeley), galsC(UC Berkeley), TinyTCL(UCLA), SQTL(Delaware)
센서네트워크 라이브러리 및 요소 기술	네트워크 라이브러리	PSFQ/CODA(Columbia), ESRT(Georgia Tech), RMST(USC)
		GPSR(Harvard), GEAR(UCLA), SPEED (Virginia), GBR(USC)
		Rumer routing(UCLA), SPIN(MIT), Directed Diffusion(UCLA), Combs Needles Haystacks(UC Davis), TTDD(UCLA), ACQUIRE(USC), KPT(Pennsylvania State)
		LEACH(MIT), PEGASIS(AeroSpace Co.), HEED(Purdue), GAF(UCLA)
		EAR (UC Berkeley), GRAB(UCLA), ReInForm(Rutgers), HAR(동경대)
	시스템 라이브러리	TinyDB(Berkeely), Cougar(Cornell), QPSN(MIT)
		Calamari(UC Berkeley), Distributed Localization(MIT), MDS(Pennsylvania), APS(Rutgers), SeRLoc(Washingthon), LASN(UIUC) R-FLS(Virginia)
		Deluge(UC Berkeley), MOAP(UCLA), XnP(UC Berkeley), Drip(UC Berkeley)
		FTSP(Vanderbilt), RBS(UCLA), TPSN(UCLA), LEAP(George Mason University)
		TinySec(UC Berkeley), SPINS(UC Berkeley), SIA(CMU)
	미들웨어	Mate(UC Berkeley), Impala(Prinston), SINA(Delaware), DSWare(Virginia)
센서네트워크 응용	생태 모니터링	Great Duck Island (UC Berkeley), CORIE(Oregon Graduate Institute) The Most Sensed Campus(CMU), REM(Uiversity of Western Australia)
	위치추적	Countersniper System (Vanderbilt), RADAR(Microsoft), Cricket(MIT), Active Badge(AT&T), MoteTrack(Harvard), AHLOS(UCLA)
	지능형 환경인식	Smart Kindergarten(UCLA), Proactive Agriculture(Intel), Active Visitor Guidance System(USC), Surveillance System(Arkansas)
	기타	Smart Brick(UIUC), Structural Monitoring(USC), Cabled Ocean Observatories (University of Washington), Robomote(USC), HM of Highway bridges(UCSD)

자료 출처: 연세대학교 모바일 임베디드 시스템 연구실

나. 에너지 효율적 통신 기술 산업화 동향

○ 국내외 산업 기술 동향

- 미국의 USC 대학에서는 센서 네트워크에 맞게 특화된 S-MAC 프로토콜을 디자인하고 이를 실제 개발함. 이 프로토콜은 UCB에서 개발된 Rene Motes에 실제로 구현이 되었으며 그 성능은 일정한 시간 주기로 전송되는 트래픽 상에서 절반으로 에너지 소비를 줄이는 것으로 확인됨 [참고문헌15]
- Cleveland State University에서는 한국의 전자통신연구원의 지원을 받아 ETRI-SSN 센서 하드웨어 상에서 S-MAC을 구현하였음. 센서 노드들은 ATMEL Atmega128 마이크로 프로세서와 무선 통신을 위하여 Chipcon CC2420 RF 송수신기를 사용한 것이 특징임. [참고문헌21]
- Nebraska 대학에서는 TinyOS상에서 DVS (동적 전압 확산)기술을 교차 레이어 개념을 이용하여 라우팅 프로토콜과 연계시킴으로써 에너지 소비를 줄일 수 있는 프레임워크를 개발 구현함 [참고문헌23]
- 유럽 연합에서는 3년 프로젝트로 EYES (http://www.eyes.eu.org/)라고 명명된 에너지-효율적 센서 네트워크(Energy-efficient sensor networks) 프로젝트를 수행함. 이 프로젝트는 이동 센서 네트워크 응용들의 다양성을 지원할 수 있는 유연한 플랫폼을 제공하기 위하여 효율적인 네트워크 구조를 개발함.
- Intel은 Intel® Mote기술을 이용하여 단순한 센서 네트워크로만은 네트워크의 크기가 커짐에 따라 에너지 효율성은 점차 줄어드는 것을 막기 위하여 802.11 mesh network기반의 이질적 네트워크 구조를 제안. 또한, 실제 산업화를 위하여 Xscale 기반의 센서 노드와의 접목을 실험한 결과 네트워크의 평균 수명 시간을 20%정도 향상 시킴. [참고문헌22]
- 한국전자통신연구원에서는 Nano-Qplus 플렛폼 상의 센서 네트워크 라우팅 시스템을 개발함. Nano-Qplus 플랫폼은 ATmega128 마이크로컨트롤 유닛과 cc2420 IEEE802.15.4 무선 통신 모듈에 기반하고 있음. [참고문헌25]



[그림 5] Nano-Qplus 상에서의 무선 센서 네트워크 라우팅 시스템 구조

자료 출처: Heeseok Choi, Ilgon Park, Youngsam Shin, Seungmin Park, "A Design and Implementation of Wireless Sensor Network Routing on Nano-Qplus Platform,"

이슈 분석 및 제기

3

- 분석 배경
- 센서 네트워크 기술의 응용 분야 및 파급 효과
- 센서 네트워크에서의 에너지 관리 기술의 향후 이슈

3 이슈 분석

| 분석 배경

○ 현재 센서 네트워크 현황
- 무선 센서 네트워크에 대한 국내외 연구 및 상업적 관심도가 폭발적으로 증가하고 있음 (2006년 10월 기준으로 웹 상에서 구글을 통한 센서 네트워크 검색시 16,700,000여개의 홈 페이지가 검색됨)
- IPSN (Information Processing in Sensor Networks), Sensys, EWSN(European Workshop on Wireless Sensor Networks), SNPA (Sensor Networks Protocol and Application)과 같은 센서 네트워크에 특화된 학술 대회가 많이 생김으로써 활발한 연구가 진행되고 있음
- NSF와 DARPA와 같은 정부 기관 주도의 연구 진행이 이루어지고 있음. 특히, DARPA는 다음과 같은 다양한 연구 프로젝트 진행 중 (SensIT (Sensor Information Technology), NEST (Networked Embedded Software Technology), MSET (Multisensor exploitation), UGS (Unattended Ground Sensors), NETEX (Networking in Extreme Enviroments), ISP (Integrated Sensing and Processing))

○ 센서 네트워크의 전망
- 비즈니스 2.0에서는 센서 로봇을 세계를 변화 시킬 수 있는 6가지 기술 중에 하나로 소개하고 있으면 MIT의 Technology Review와 Globalfuture는 센서 네트워크를 세계를 바꿀 10개의 떠오르는 기술로 전망하고 있음
- MEMS 및 나노 기술 (nanotechnology)는 노드의 크기 및 네트워크의 능력을 향상시키게 되며 이러한 기술의 결합을 촉진하고 있음

○ 효율적 에너지 관리를 위한 분석의 필요성
- 환경 감시, 목표물 발견 및 지역화 등을 위한 다수의 응용 프로그램들에서 센서 노드들은 배터리에 의존하여 운영되며 대부분 아주 멀고 접근 불가한 지역에 위치하게 되므로 배터리 교환 비용이 너무 비싸지게 됨
- 센서 노드의 기본 구조에서 적은 에너지를 위한 설계는 에너지-효율적인 센싱, 계산 (지역 정보 처리), 그리고 통신에 초점이 맞추어져 있음. 결국, 이는 센서 노드의 하드웨어 및 운영 체계, 소프트웨어의 모든 범위에 해당하는 부분으로 가장 핵심 부분이라고 할 수 있음

3 이슈 분석

| 센서 네트워크 기술의 응용 분야 및 파급 효과

○ 추후 예상되는 응용 분야
- 일반적인 공학 분야에서는 자동차 텔레메틱스, 산업화 공장에서의 센싱 로봇, 스마트 사무실 공간, 소매점에서의 상품/박스/컨테이너 추적과 같은 분야에 센서 네트워크를 적용하려고 함
- 임의의 지역 감시, 습관 감시, 재해 발견, 오염 물질의 확산 등과 같은 농업과 환경적 모니터링 분야
- 도시 계획, 재해 복구 및 도시 환경 구조 모니터링과 같은 도시 공학 분야
- 부대의 편성 및 관리, 시내에서의 전쟁, 방어 능력, 지뢰와 같은 분야에 적용되는 군대 분야
- 인간의 체온 및 혈압을 자동적으로 검사함으로써 건강 상태 검사로 사용될 수 있으면 작은 로봇을 이용한 마이크로 수술과 같은 건강 모니터링과 수술 분야

○ 추후 예상되는 파급 효과
- 센서기술의 발전은 다른 산업과 개인의 일상생활에 엄청난 파급효과를 가져 올 것임. 센서는 모든 산업 분야의 핵심 부품으로 활용되고 있어 타 산업분야와의 연관성이 높으므로 미국, 일본 등 주요 선진국들은 센서를 국가적 차원에서 육성하고 있음.
- 현재 센서는 소형화, 지능화, 다기능화, 무선화하는 방향으로 진화하고 있으며, 센서 기술과 네트워크 기술의 발전은 사물의 존재 및 위치까지 감지하면서 망에 연동, 실시간으로 관리/제어하는 “유비쿼터스 센서 네트워크(u-센서 네트워크)”의 구축을 가능하게 함.
- u-센서 네트워크 산업은 센서 시장을 급격하게 변화시키고 성장시킬 전망이며, 단순히 네트워크를 구축하는 것 이상으로 부가가치를 창조할 수 있는 산업으로 전망되고 있음

3 이슈 분석

센서 네트워크에서의 에너지 관리 기술의 향후 이슈

가. 노드 레벨 기술적 이슈 및 합리적 적용 방안

○ 노드 레벨 에너지 최소화 기법의 상용화 단계 분석
- 아직까지는 센서 노드의 운영 체제 및 관련 기술의 안정화 단계에 도달하지 못하였으므로 에너지 관련 기술의 큰 발전을 기대할 수 없는 초기화 단계로 인식됨
- 이 분야의 경우, 전자통신연구원의 Nano-Qplus를 중심으로 우리 나라의 기술 수준은 세계 상위권에 있다고 할 수 있으며 계속적인 산업화 활동을 통한 경제적/사회적 파급효과를 기대할 수 있음
- 다양한 응용 프로그램과의 연동을 위한 미들웨어 기술에 초점을 맞추면서 I/O 작업의 효율성을 높일 수 있는 알고리즘 및 기술 개발에 연구의 초점이 맞추어 질 것으로 예상됨

○ 노드 레벨 에너지 최소화 기술의 선결 조건
- 센서 네트워크에 적용되는 응용에 따른 에너지 소비에 대한 패턴 분석이 필요. 우선적으로 각 응용에 맞게 에너지 소비 부분에 대한 분석을 통하여 각 센서 노드에 특화된 기술 개발 후 이를 보편화하는 접근 방법이 타당함
- 센서 노드 하드웨어의 기술적 발전을 염두한 확장성/융통성 있는 기술 개발이 필요함. 즉, 일부 하드웨어의 변화가 전체 시스템에 미치는 영향을 최소화함으로써 요소별 독립성이 보장되어야 하며 하드웨어의 특성을 신속히 반영할 수 있는 기술의 개발에 초점이 맞추어져야 할 듯 함
- 각 운영 체제의 에너지 관리 기법간의 비교 분석을 통하여 운영 환경에 맞는 운영 체제 및 개발 환경의 이해가 필수적으로 요구됨

○ 노드 레벨 에너지 최소화 기술의 합리적 접근 방안
- 커널 모니터를 제공하여 커널에서 자동으로 CPU의 Frequency를 변동하거나 또는 응용에서 필요한 최소 성능을 요구하여 CPU의 Frequency를 동적으로 변동하는 기술의 적용
- 하드웨어 디바이스별로 sleep, 또는 power on/off 기능 제공하며 이들간의 동기화를 통한 에너지 최소화 기법의 적용이 필요
- 현재 다양한 임베디드 시스템에 적용되고 있는 I/O 시스템을 센서 노드로 적용시키는 방법이 가장 현실적인 대안으로 예상됨

나. 에너지 효율적 통신 기술 이슈 및 합리적 적용 방안

○ 에너지 효율적 통신 기술의 상용화 단계 분석
- 많은 연구들이 이루어지고 있지만 산업화 측면에서는 아직 활발하지 않음. 이는 아직까지 센서 네트워크에 대한 표준화 또는 산업화가 실제 망에 적용될 정도의 적용성을 가지지 못하게 됨을 의미함. 따라서, 에너지 기반 통신 프로토콜에 대한 적극적인 산업화 활동이 가장 기대됨
- 각 단계별 효율적 에너지 기반 프로토콜의 상호 연동성 검증을 위한 산업화 활동이 활발하게 이루어지고 있음. 전체 시스템의 성능 향상을 위하여 각 레이어 단계보다는 전체 시스템 단계의 접근 방법이 이루어지고 있음을 의미함
- 기존 이동 네트워크에서의 에너지 소비를 줄이기 위한 페이징 기법 및 라우팅 기법 등의 변형을 통한 센서 네트워크로의 적용에 대한 연구가 산업화 기술 단계에서도 가장 큰 부분을 차지할 것으로 예상됨

○ 노드 레벨 에너지 최소화 기술의 선결 조건
- 각 레이어 별 기술들간의 협력 및 협동을 위한 프레임워크가 필요하며 레이어별 에너지 소비에 대한 가중치 분석이 필수적임. 또한, 노드 레벨 기술과 마찬가지로 각 응용에 따른 레이어별 통신 메커니즘의 효율적 에너지 소비 메커니즘간의 연동 가능성 검토가 필요
- 통신 기술의 하드웨어적 측면과 소프트웨어적 측면의 고려가 반드시 필요하며 네트워크 구조, 네트워크 환경 등 외부 요인에 의한 영향력을 메커니즘 개발시 고려할 수 있는 요소로 추가하는 것이 필요함
- 에너지 효율성 증대 메커니즘과 더불어서 노드들의 에너지 소비로 인한 네트워크 구조의 변화, 통신 모델의 변화, 적응적 네트워크 기술 구현에 대한 검토가 요구됨
- 노드 레벨 에너지 최소화 기법과의 연동 가능성을 검토하고 적극 반영하도록하며 위치 정보, 지역 네트워크 정보/전체 네트워크 정보 등과 같은 추가적인 정보의 활용성에 대한 검토 필요

○ 통신 에너지 최소화 기술의 합리적 접근 방안
- 통신 에너지 소비를 줄이는 기술과는 다른 접근 방법으로 네트워크 유지/관리를 위한 에너지 소비를 줄이는 강건한 네트워크 구조를 통한 에너지 소비 관리 메커니즘이 합리적 대안으로 예상됨
- TDMA, CSMA기반의 MAC 프로토콜의 장단점을 모두 취할 수 있는 hybrid형태의 MAC 알고리즘이 적당하며 이를 통하여 동적 자원 관리 및 분산된 네트워크 환경으로의 확장 방안이 타당함
- 데이터 전달 뿐만 아니라 데이터 처리를 위한 네트워크 계층에서의 프로토콜 개발이 이루어져야 함. 데이터 처리를 위하여 데이터 군집, 이벤트 처리, 에이전트 개발 등의 기술이 필요하며 이는 기존 네트워크에서의 기술을 직접 도입하기에는 어려움이 있으므로 새로운 프로토콜 개발이 적합함
- 새로운 프로토콜 개발에는 데이터 전송의 목적, 응용 프로그램 시나리오, 라우팅 접근 방법, 에너지 효율적 메커니즘의 최종 목표에 대한 관련 테이블을 작성하고 이에 따른 프로토콜 변화를 확인하여야 함
- 가장 현실적인 프로토콜로는 계층화를 통한 에너지 최소화 프로토콜이라 할 수 있음. 이는 제어 메시지 및 처리 노드의 수에서 많은 장점이 파악되고 있으므로 이를 적극적으로 적용하고자 하는 노력이 필요함

다. 효율적 에너지 사용을 위한 하드웨어적 접근 방법

- 기존의 태양열을 이용하는 방법과 배터리를 이용하는 방법을 접목하여 하나 이상 에너지원을 가질 수 있는 하드웨어적 접근 방법이 유력해짐. 이런 환경을 조성함으로써 배터리를 이용하여 태양열 에너지를 수집하고 태양열이 존재하지 않는 곳에서는 배터리를 적용하는 이중적 하드웨어 개발 방법이 필요

라. 효율적 에너지 사용을 위한 소프트웨어적 접근 방법

- 운영 체제와 응용 프로그램간의 중간 역할을 수행하는 새로운 미들웨어를 통하여효율적 에너지 사용이 가능하도록 하는 시스템 소프트웨어적 접근 방법과 각 응용 프로그램에서의 에너지 사용을 줄이기 위한 메커니즘을 포함하는 응용 프로그램 레벨의 접근 방법이 고려되며 이중 시스템 소프트웨어적 접근 방법이 동적인 자원 관리 메커니즘에 대한 개발 방법이 현실적으로 요구됨

참고문헌

1. I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, August 2002.
2. Praveen Rentala, Ravi Musunnuri, Shashidhar Gandham, Udit Saxena, "Survey on Sensor Networks, " University of Texas at Dallas.
3. Sameer Tilak, Nael B. Abu-Ghazaleh and Wendi Heinzelman, "A Taxonomy of Wireless Micro-Sensor Network Models," ACM Mobile Computing and Communications Review (MC2R), Volume 6, Number 2, April 2002.
4. M. Tubaishat, S. Madria, "Sensor Networks : An Overview," IEEE Potentials, April/May 2003.
5. 박승민, "센서 네트워크 노드 플랫폼 및 운영체제 기술 동향, " 전자통신동향분석, 제21권, 제1호, 2006년 2월, pp. 14 - 24.
6. 이재용, "유비쿼터스 센서 네트워킹 기술," TTA 저널, 제95호, pp. 78 - 93.
7. 김석진, 조흥곤, 김대환, "센서 네트워크 임베디드 소프트웨어 기술동향," 한국과학기술정보원 동향 분석.
8. 연세대학교 모바일 임베디드 시스템 연구실, 센서 네트워크 관련 연구 자료, http://mobed.yonsei.ac.kr/nrl/tech.html
9. -, "u-센서 네트워크," 주간기술동향, 통권 1260호, 2006년 8월.
10. 장선호, 이민경, 김재준, "유비쿼터스 센서 응용서비스 및 개발동향," IT SoC Magazine, 2006년 7월, pp. 10 - 22.
11. 조준경, 최준휘, 정현섭, "u-센서 네트워크 기술 시장 동향," 주간기술동향, 2005년 12월.
12. G. Asada et al., "Wireless Integrated Network Sensors : Low Power Systems on A Chip," IEEE Eur. Solid-State Circuits Conf., 1998.
13. Imad Mahgoub, Mohammad Ilyas, *Sensor Network Protocols*, CRC Press Taylor & Francis, 2006.
14. M. Bhardwaj et al., "Bounding the Lifetime of Sensor Networks via Optimal Role Assignment," Proc. IEEE INFOCOM, 2002, pp. 1587 - 1596.
15. Wei Ye et al., "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, Vol. 12, No. 3, Jun. 2004, pp. 493 - 506.
16. T. He et al., "VigilNet: An Integrated Sensor Network System for Energy-Efficient Surveillance," ACM Transactions on Sensor Networking, Vol. 2, No. 1, Feb. 2006.
17. Athanassios Boulis and Mani B. Srivastava, "Node-level Energy Management for Sensor Networks in the Presence of Multiple Applications," IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications, 2003.
18. K. Jeffy et al., "On Non-Preemptive Scheduling of Periodic and Sporadic Tasks with Varying Execution Priority," Proc. Real-Time Syst. Symp. Dec. 1991.
19. The COUGAR Sensor Network Project, http://cougar.cs.cornell.edu/
20. TinyOS website, http://www.tinyos.net/

21. Kiran Tatapudi and Chansu Yu, “SMAC Implementation for ETRI SSN-based Sensor Networks,” technical report, Department of Electrical and Computer Engineering, Cleveland State University, http://www.csuohio.edu/ece/techReport/2006/tr03.pdf
22. Intel's Heterogeneous Sensor Networks, http://www.intel.com/research/exploratory/heterogeneous.htm
23. Wei Wang, Jong-Hoon Youn, Hamid R. Sharif, “The Implementation of an Energy Balanced Routing Protocol with Dynamic Power Scaling in TinyOS,” IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing, pp. 262-267.
24. Heeseok Choi, Ilgon Park, Youngsam Shin, Seungmin Park, "A Design and Implementation of Wireless Sensor Network Routing on Nano-Qplus Platform," IEEE ICACT, Feb. 2006, pp. 528 - 530.
25. Embedded S/W Research Division, ETRI, http://qplus.or.kr

저자소개

➢김 기 일

- 이학 박사
- 코넬대학교 박사후 연구원
- 현, 경상대학교 정보과학전공 전임강사

➢한국과학기술정보연구원 동향정보분석팀