
Ad hoc 무선 센서네트워크에서의 효율 전력 매니지먼트에 관한 연구

전동근*

Design of an Efficient Power Manger through the cooperative Dynamic Power Management
for Ad hoc Wireless Sensor Networks

Dong-Keun Jeon *

요 약

센서네트워크에서 주요자원문제는 에너지효율이다. 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 방법에는 두 가지가 있다. 첫번째는 동적과워매니지먼트(DPM)이고, 두번째는 에너지효율프로토콜을 사용하는 것이다. DPM에서 과워매니저 OS는 이벤트에 관한 CPU와 각 I/O의 올바른 과워상태를 조절하는데 있다. 그러나, OS는 각 네트워크프로토콜의 내적동작에 대해서는 크게 관계가 없다. 또한, 에너지효율 프로토콜은 전파 PHY의 과워세이빙에 주요하게 맞춰져있다. 더불어, 무선 센서네트워크에서 대부분작업은 통신에 관계되어져있다. 본논문에서, 센싱부와 에드혹 무선센스노드 사이에 관계된 통신작업에서 상호협력 매니지먼트(CPM)을 통해 원치않는 과워소비를 줄일 수 있는 효율 과워매니저를 만들었다.

ABSTRACT

The major resource problem in sensor networks is energy efficiency. There are two major access methods to efficiently use energy. The first is to use dynamic power management (DPM). The second is to use energy efficient protocols. In DPM methods, the OS, the power manager, is responsible for managing the proper power state of CPU and each I/O with respect to the events, but the OS is not largely concerned about the internal operation of each network protocols. Also, energy efficient protocols are mainly focused on the power saving operation of the radio PHY. In addition, in wireless sensor network most of tasks are connected to communication. In such a situation, traditional power managers can waste unpredicted power. In this paper, we introduce an efficient power manger that can reduce a lot of unwanted power consumption through cooperative power management (CPM) in communication-related tasks between each units, such as radio, sensing unit, and CPU, for ad hoc wireless sensor nodes.

키워드

sensor network, energy, efficiency, power, management
센서네트워크,에너지,효율,전력, 매니지먼트

1. 서론

무선통신과 MEMS 기술의 최근 발전은 저비용, 저 전력 및 소형 무선 센서 노드의 개발을 가능하게 하

고 있다. 센서 네트워크는 과밀하게 배포된 다수의 센서 노드들로 구성된다. 하지만, 센서 네트워크에서 사용되는 센서 노드와 전통적인 데이터 네트워크에서 사용되는 무선 장치 사이에는 많은 차이점이 존재한

* 인천대학교 공과대학 메카트로닉스공학(dkjeon@incheon.ac.kr)

접수일자 : 2011. 09. 30

심사(수정)일자 : 2011. 11. 28

게재 확정일자 : 2011.12. 12

다. 센서 네트워크는 인프라에 의존하지 않는 무선 애드혹 네트워크를 기반으로 동작한다. 또한 센서 노드들은 다른 무선 장치보다 에너지, 연산, 저장 및 대역폭 측면에서 더 심한 제약 조건을 갖고 있다. 센서 네트워크는 정적인 무인 네트워크이며, 센서 노드들은 재충전이 불가능하기 때문에, 센서 네트워크에서 가장 큰 문제점은 바로 에너지이다.[1][4]

따라서, 무선 장치의 한정된 에너지자원을 보다 효율적으로 관리하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다. 센서 네트워크에서 가장 중요한 문제는 저전력 디바이스를 가지고 어떻게 효율적으로 에너지를 사용하는 가이다. 효율적으로 에너지를 사용하는 두 가지 주요 접근 방법이 있다. 첫 번째는 시스템이 유휴 상태에 있거나 수행하는 작업이 거의 없을 때, 소비 전력을 줄이기 위한 런타임 동작을 하는 것이다. 이러한 기법을 동적 전력 관리 (dynamic power management, DPM)라고 한다. 두 번째는 IEEE802.11 (IEEE 1998), EC-MAC (Silalingam et al., 2000), and PAMAS (Singh and Raghavendra, 1998)와 같은 에너지 효율적인 프로토콜을 사용하는 것이다. DPM 방식에서는, OS의 전원 관리자가 이벤트와 관련하여 각각의 I/O 및 CPU의 적절한 전원 상태를 관리 담당하지만, 운영 체제는 각각의 네트워크 프로토콜의 내부 동작에 관여할 수 없다. 또한, 에너지 효율적인 프로토콜들은 주로 PHY계층의 절전 동작에 주로 초점을 맞추고 있다. 또한, 무선 센서 네트워크에서 대부분의 작업들은 통신과 연관 되어 있다. 이러한 상황에서 전통적인 전력 관리자는 예상치 못한 전력 낭비를 할 수 있다.

본 논문에서, 우리는, RF, 센서 유닛 그리고 CPU와 같은 각각의 유닛들 사이의 통신과 연관된 태스크들 내부의 협력적 전력 관리자를 통한 불필요한 에너지 낭비를 줄일 수 있는 효율적인 전력 관리자를 소개한다.

II. 이론적 배경

모바일 환경에 적합한 Embedded System의 발전과 장소와 시간에 구애받지 않고 언제 어디서나 네트워크에 접속하기를 원하는 사용자의 요구 증대로 유

비쿼터스 컴퓨팅 환경이 도래했다. 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 가장 주목받는 기술 중 하나는 무선 센서 네트워크이다.[2][5] 무선 센서 네트워크의 목적은 인간의 오감을 대신하여 다양한 정보를 수집하고 사용자에게 정보를 제공하는 스마트 환경을 제공하고 있다. 무선 센서 네트워크는 센서 노드를 통하여 WLAN 및 Ad-Hoc 네트워크와 유사한 구조의 네트워크 토폴로지를 구성하지만 하드웨어적 능력이 기존의 무선 네트워크 환경에 사용되는 노드와 많은 차이가 있다. 제한된 용량의 메모리, 처리능력 그리고 제한된 에너지는 센서 네트워크를 기존 네트워크처럼 구축하는데 많은 제약을 가지고 있으며 이러한 문제점 중 가장 최우선으로 고려되어야 할 영역은 센서 노드에 사용되는 배터리의 수명이다. 센서 노드가 가장 많은 에너지를 소모하는 부분은 통신에 필요한 Radio가 on 상태일 때이며, 노드의 상태를 Sleep/Active로 구분하여 통신이 필요하지 않은 상태에서는 Radio를 off하여 에너지 소모를 줄이고자 하는 에너지 관리 기법이 필요하다.

III. 연구내용과 관련된 국내·외 연구동향

무선 센서 네트워크에서 MAC 계층에서 발생하는 에너지 낭비 문제 해결을 위해 무선 센서 네트워크 환경에서 소모되는 전력을 줄이기 위한 MAC프로토콜들은 물리 계층에서 사용되는 채널의 수, 경쟁기반 또는 비 경쟁기반(Contention based) 채널접속 방식과 관련된 노드의 조직, 수신되는 메시지가 있을 때 이를 인지하는 방법(Notification)의 관점에서 많은 연구가 이루어지고 있다. 첫 번째, 물리 계층에서 사용하는 채널수에 따른 분류의 경우, 다중 채널 시스템의 충돌이 거의 없는 환경에서는 SMACS와 PicoRadio와 같은 다중 채널을 사용하는 MAC 프로토콜들이 좋은 성능을 보여주고 있지만 다중 채널에 의한 복잡한 무선 통신이 상당한 에너지 소모를 보여 MAC 프로토콜의 설계 시 가장 적합한 단일 채널의 물리 계층을 사용하는 경향으로 바뀌게 되었다. 두 개의 채널을 사용하는 MAC 프로토콜은 한 개의 데이터 채널과 다른 하나의 Wake-up 채널을 사용하는데, Miller와 Vaidya는 송신 노드가 Wake-up 채널을 통하여 수신

노드를 깨울 때 다른 노드들도 이 채널을 듣고 깨어나서 어떤 노드가 수신 노드인지를 알려주는 신호를 들은 후 송신 노드가 지정한 수신 노드가 아닌 노드들은 다시 저전력 소모 상태로 돌아감으로써 불필요한 전력 소모를 줄이는 방법을 제시하였다.[2]

두 번째는, MAC 계층에서 네트워크 내 센서 노드들의 조직화 방법에 따른 분류이다. 경쟁 기반 프로토콜은 랜덤 액세스(Random Access) 방식이기 때문에 다른 노드와의 전송 충돌로 인한 에너지 소모와 매체 접근을 위한 채널 감지 CSMA/CA 프로토콜이 그 예로 이 방식은 충돌을 가능한 피하는 방식이다. S-MAC 프로토콜은 무선 센서 네트워크를 위해 특별히 고안된 방법으로 슬롯(slotted) 개념을 사용하는 MAC 프로토콜이다.[4][10] S-MAC 프로토콜은 단일 채널을 사용하는 경쟁기반 프로토콜로 시간을 프레임 단위로 나누고, 이 프레임을 Active 모드와 Sleep 모드로 나눈다. 수면 구간에서는 노드가 무선 통신을 위한 부분의 전원을 끄고 에너지 소모를 거의 하지 않는 상태로 활성 구간의 Duty Cycle을 줄임으로써 전력 소모를 줄이는 방법을 사용한다. 하지만 수율(throughput)과 지연(delay)에 대한 성능사이에 tradeoff를 해야 하는 문제가 있다. 세 번째는 센서 노드가 메시지 송수신을 어떻게 인지하는가에 의한 분류이다. 스케줄링 기반의 프로토콜은 사전에 각 노드가 통신을 할 수 있는 시간이 정해져 있기 때문에 언제나 채널을 감지하고 있을 필요가 없이 정해진 시간에서만 통신을 하면 되므로 에너지 소모를 줄일 수 있는데, TDMA 방식을 사용하는 프로토콜이 그 대표 예이다.[3]

IV. 연구방법

무선 센서 노드내에는 센서네트워크를 구성하기 위한 다양한 유닛들이 존재한다. 예를 들어, 네트워크 프로토콜을 실행하기 위한 CPU, 주변 환경을 인지하기 위한 센서, 그리고 다른 센서노드들과 통신하기 위한 RF 모듈이 그것이다. 본 연구는 배터리 기반의 센서 노드의 효율적인 에너지 관리를 위해 센서 노드내 각 유닛들간 협력적 전력 관리 기법을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 알고리즘을 통해 센서 노드내의 각 유닛들은 불필요한 에너지 소비 각 유닛은 전원

발생기에 의해 전원을 공급받으며, 무선 센서 노드는 대부분 배터리를 사용한다. 또한 각 유닛은 전력 레벨의 조절을 통한 전력 제어가 가능하다[4].

그림 1은 무선 센서 노드의 간단한 구조이다. 그림 1에서 보는 바와 같이, 센서 노드는 네 개의 주요 부분으로, 프로세서 유닛, 메모리 유닛, 무선 PHY 및 감지 장치로 구성되어 있다. 각 유닛은 중앙의 전력 발생기와 배터리에 의해 제공되며, 주소, 데이터, 그리고 제어버스를 공유한다.[3] 또한, 각각의 단위, 즉 전원 절약을 위한 능력, 즉 IDLE, PWDN 등의 핀을 가지고 있다. 무선 센서 노드의 작업의 대부분은 통신 기반의 이벤트와 관련이 있다. 심지어 센싱 태스크들조차도 독립적이지 않으며, 통신과 연관되어 있다. 따라서, 전원 절약 기능을 갖는 프로토콜이 필요하다. 본 논문에서, 우리는 공통의 매체에 다수의 접속을 관리하는 MAC 계층을 다룰 것이다.[5] 인프라 구조가 없는 애드혹 네트워크 기반의 센서 네트워크를 위해, 우리는 분산된 노드들을 위한 CSMA 기반의 MAC 프로토콜을 채택할 것이다. 경쟁 기반의 애드혹 네트워크에서, 충돌이 발생할 경우, 많은 양의 에너지가 낭비된다. 네트워크의 상황을 지속적으로 체크하는 것도 주요한 에너지 낭비 중 하나이다. 무선 센서 네트워크내의 대부분의 실행 태스크들은 통신과 관련된 이벤트에 의해 동작하기 때문에, 통신과 관련된 이벤트가 발생할 경우에만 각 유닛을 동작시키고 나머지 기간에는 모든 유닛들이 저전력 모드를 유지한다면 불필요한 에너지 소모를 막을 수 있다.[6] 본 연구에서는 이를 위한 전력 관리 스케줄링 기법을 제안할

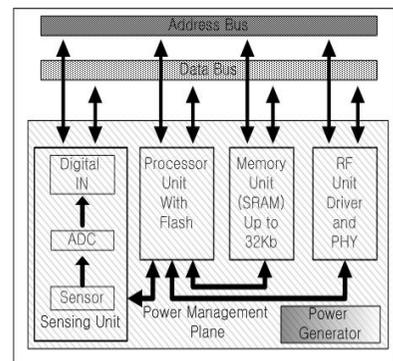


그림 1. 무선 센서 노드의 구조
Fig. 1 Structure of wireless sensor node

것이다. 또한, 센서 네트워크에서 주요한 에너지 소모 중에 하나는 각 노드들이 전송한 데이터들 간의 충돌에 의한 재전송에 의해 발생한다.[5] 이러한 낭비를 막기위해, 본 연구는 또한 전력 관리 스케줄링과 결합된 에너지 효율적인 MAC 프로토콜을 제안할 것이다.

V. 연구 결과

그림 2는 충돌이 발생하는 상황에서 우리가 제안하는 전원 관리자의 동작을 보여주고 있다. 네트워크 내에 A, B, C, D 네 개의 센서 노드들이 있다. 특히, D는 네트워크 내의 온도를 모니터링하는 센서이다. B와 D는 A의 통신 범위 안에 있으며, A와 C는 B의 통신 범위 내에 있다. A가 B에게 데이터를 전송할 경우, C는 A가 전송하는 RTS를 수신하며, D는 B가 전송하는 CTS를 수신한다. 그리고 나서 주기적으로 깨어난다. 센서 유닛이 임계값을 넘어서는 온도를 감지할 경우, 그 사실을 알리기 위해, D는 싱크 노드나 다른 Actuator에게 데이터를 전송해야 한다. 하지만, 네트워크는 다른 노드에게 데이터를 전송하는 A에 의해 점유되어 있기 때문에, D는 자신의 큐에 데이터를 저장한 후에, 네트워크가 더 이상 디바이스들에게 사용되지 않을 때까지 기다려야 한다. 이 때, 전통적인 프로토콜들은 다른 유닛의 전력 상태를 고려하지 않는다.[7][8] 또한 일반적인 DPM 기법에서는, 네트워크가 다른 디바이스에 의해 점유되고 있는 동안 자신의 큐에 데이터가 저장되어 있으므로, 아무런 작업도 하지 않음에도 불구하고, CPU가 IDLE 상태로 진입할 수 없다. 센서 노드의 총 에너지 효율은 다음 식과 같이 계산된다.[9]

$$\frac{(P_{cpu_idle} * T_{ic}) + (P_{radio_idle} * T_{ir}) + (P_{sensing_idle} * T_{is})}{\{(P_{cpu_active} * T_{ac}) + (P_{radio_active} * T_{ar}) + (P_{sensing_active} * T_{as})\} + \{(P_{cpu_idle} * T_{ic}) + (P_{radio_idle} * T_{ir}) + (P_{sensing_idle} * T_{is})\}}$$

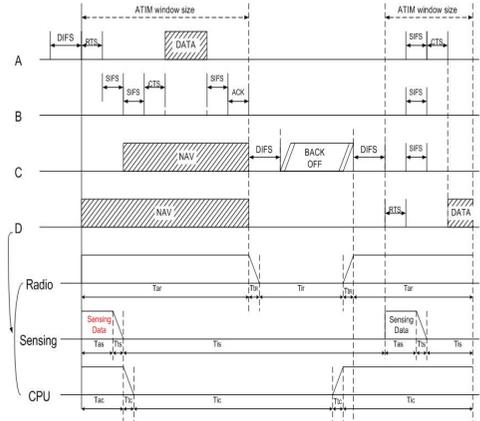


그림 2. CSMA 기반 MAC 프로토콜에서의 CPM의 동작

Fig. 2 CPM operation of CSMA MAC protocol

또한, 연구에서는 리스닝 구간동안 효율적인 에너지 절약을 위해 ad hoc traffic management (ATIM)를 사용한다. 본 연구에서 제안하는 전력 관리자는 그림 2에서 보는 바와 같이 동일한 상황을 효율적으로 처리하기 때문에, 많은 양의 에너지를 절약할 수 있다. 그림 3은 각 전력 상태 사이의 상태 천이도를 보여주고 있다.

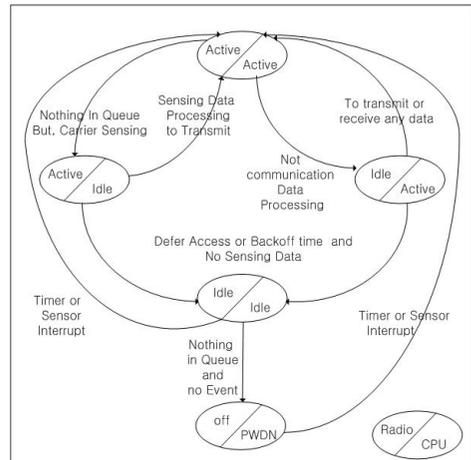


그림 3. 각 유닛들의 전력 상태 사이의 상태 천이도
Fig. 3 Status transition of power status

본연구에서는 시뮬레이션을 위해 NS-2를 사용하였다. 시뮬레이션은 3~10개의 노드를 가지고 수행하였

다. 애드혹 라우팅을 위하여, DSDV를 사용하였으며, 512바이트의 CBR을 사용하였다. 그림 4는 시간에 대한 노드의 총 에너지 소비량을 보여주고 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이, CPM은 통신 구간동안 유닛들의 불필요한 active state를 방지함으로써, 효율적인 에너지 소비를 보장한다.

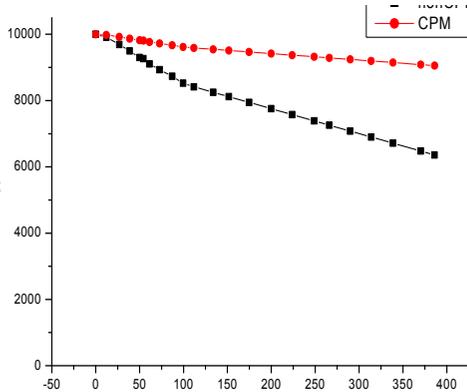


그림 4. 시뮬레이션 결과

Fig. 4 Simulation result

VI. 결론

무선 센서 네트워크는 감시 정찰과 같은 군사용 어플리케이션 뿐만 아니라, 홈 네트워크, 빌딩 오토메이션, 지능형 교통시스템과 같은 다양한 어플리케이션에 적용될 수 있다. 하지만 이러한 어플리케이션들의 적용을 막는 가장 큰 요인은 네트워크의 수명과 연관된 노드들의 에너지 수명이다. 향후 제안한 알고리즘을 이용하여 센서 네트워크의 수명을 연장하여 보다 저가의 신뢰성있는 서비스를 제공하는데 유용할 것이다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2010년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] 김지은, 김세한, 정운철, 김내수, "USN 센서노

드 기술 동향", 전자통신동향분석, 제 22권, 제3호, pp. 33-40, 2007.

[2] IEEE Std. 80-11 (2007), "IEEE standard for wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification"; <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>

[3] K. Sivalingam, J. Chen, P. Argawal, and M. Srivastava, "Design and analysis of low-power access protocols for wireless and mobile ATM networks," ACM Wireless Networks, Vol. 6, No. 1, pp. 73 - 87, 2010.

[4] 오원근, 이성근, "USN에서 에너지효율성과 지연을 위한 MAC 프로토콜", 한국전자통신학회논문지, 제4권, 제 1호, pp. 19-23, 2009.

[5] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 12, No. 3, pp. 493-506. Jun., 2010.

[6] Suresh Singh, C. S. Raghavendra, "PAMAS - Power aware multi-access protocol with signalling for ad hoc networks," ACM Computer Communication Review, Vol. 28, No. 3, pp. 5-26. Jul., 1998.

[7] 김경욱, 반경진, 허수연, 김응곤, "RFID/USN기반의 센싱데이터수집을 위한시스템설계 및 구현", 한국전자통신학회논문지, 제5권, 제2호, pp. 221-226, 2010.

[8] Ye W, Heidemann J, Estrin D, "An energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks", Proceedings of the 21st international annual joint conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2009), 2002.

[9] T. van Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," The First ACM Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2007), Los Angeles CA, Nov., 2007.

[10] 김경욱, 반경진, 류남훈, 장문석, "다중상황처리를 위한RFID/USN 미들웨어 설계", 한국전자통신학회논문지, 제4권, 제2호, pp. 101-107, 2009.

저자 소개



전동근(Dong-Keun Jeon)

1986년 고려대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1988년 고려대학교 대학원 전자공학 졸업(공학석사)

1992년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2011년 인천대학교 기계시스템공학부 메카트로닉스공학 교수

※ 관심분야 : 이동통신시스템, 센서네트워크통신