

무선 네트워크상에서 개선된 에너지 효율을 고려한 저전력 센서 네트워크의 연구☆

A Study on Low-Power Sensor Network of Improved Power-Efficiency in Wireless Network

최 인 화* 하미드 잡발** 황 준*** 박 경 린**** 정 태 경*****
Inhwa Choi Hamid Jabbar Jun Hwang Gyungleen Park Taikyeong Jeong

요 약

무선 네트워크 솔루션은 자유로운 이동성과 설치의 간편성 때문에 많은 영역에서 사용되고 있다. 무선 네트워크를 구성하는 센서들이 서로 정보를 공유하기 위해서는 무선통신을 지원하는 프로토콜이 필요하다. 대표적인 프로토콜은 Mobile IPv6가 있다. 그러나 각 센서들은 제한된 전력과 컴퓨팅 능력을 갖기 때문에 이 프로토콜을 사용하는 것은 매우 비효율적이다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 에너지 효율을 높일 수 있는 개선된 센서 회로를 설계하였으며, 센서 네트워크상에서 필요하지 않은 센서를 휴면상태로 됨으로써 에너지 소비를 줄일 수 있는 알고리즘을 구성하였다.

Abstract

Wireless network solution is used in many area because of free mobility and easy of establishment. Sensors that compose wireless network need protocol that support wireless communication to share information each other. As representative protocol, we currently witnessed IPv6 protocol. However, due to the limitation of sensors's electric power and computing ability, it is inefficient that each sensors use this protocol. In this paper, we designed improved sensor circuit that can heighten energy efficiency in sensor network to solve these problem and composed algorithm that can pare down energy consumption using method to make unnecessary sensor in sleep-mode.

☞ Keywords : Sensors, Circuits, Power Efficiency, IPv6, Wireless Network

I. 서 론

오늘날 정보기술은 초소형의 컴퓨팅 디바이스를 사물에 내장하여 물리공간과 네트워크 기반의 가상 전자공간을 융합한 새로운 유비쿼터스 컴퓨팅 세계를 창출하여 인간의 생활을 보다 안전하고, 생산적이며, 풍요롭게 변화시키려 하고 있다. 그러므로 보이지 않는 컴퓨터에 의해 사물들은 지능화되고 인간은 실세계의 상황을 보다 정확하게 인지할 수 있게 된다.

유비쿼터스 센서 네트워크(USN)는 각종 센서에서 수집한 정보를 무선으로 수집할 수 있도록 구성된 네트워크를 말한다. 필요한 모든 곳에 전자 태그를 부착하고 이를 통하여 사물의 인식정보는

* 정 회 원 : 서울여자대학교 미디어학부 박사과정
urangi@swu.ac.kr

** 준 회 원 : NESCOM, Pakistan
hamid@mju.ac.kr

*** 종신회원 : 서울여자대학교 정보미디어대학 미디어학부
교수 hjun@swu.ac.kr

**** 종신회원 : 제주대학교 전산통계학과 교수
gipark@cheju.ac.kr

***** 종신회원 : 명지대학교 통신공학과 조교수, 교신저자
ttjeong@mju.ac.kr

[2008/10/13 투고 - 2008/10/15 심사 - 2009/02/10 심사완료]

☆ This research is supported by the Smart (Ubiquitous) City Project titled "An Intelligent Convergence System of Urban Information for Smart (Ubiquitous) Cities" which was operated by the University of Seoul and funded by City of Seoul, Korea (South).

물론 주변의 환경정보까지 탐지하여 이를 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 관리하는 역할을 한다 [1, 2]. USN에 관련된 연구, 즉 센서 및 센서 네트워크에 대한 연구는 오래전부터 계속되어 왔다 [3]. 동시에 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술 및 초소형 네트워크 디바이스 기술 등이 발전함에 따라 센서 네트워크 기술이 매우 활성화되고 있다. 미국에서는 이 기술을 홈 오토메이션·생태 모니터링 등에 시험적으로 적용하고 있으며 [1, 3]. 대표적인 것으로 ZigBee Alliance를 꼽을 수 있다. ZigBee는 저 전력 ZigBee 송수신기를 각종 센서와 결합하여 대규모 센서 네트워크를 구성할 수 있게 해준다. 센서 네트워크에서는 대용량 정보 전달이 요구되지 않는 반면, 긴 배터리 시간과 일정 거리 이상의 전송 커버리지 확보가 필요하므로 이러한 요건을 충족시키기 위해 2003년 5월 IEEE에서는 저비용, 저 전력 무선 PAN(Personal Area Network) 기술을 정의하는 802.15.4 규격을 발표했다. 또한, 최근 들어 센서 기술을 기반으로 하는 MEMS(Micro-Electronic-Mechanical Systems) 시스템을 통해 저 전력, 저 비용 디지털 신호 처리의 특징을 이용하여 홈 네트워크와 같은 복잡한 환경에 임베디드화하여 널리 사용되어지고 있는 사실이다 [1, 4].

이중 현재 많은 수의 센서 네트워크가 TCP/IP 프로토콜이 아닌 ZigBee 등 non-IP 프로토콜을 이용하고 있다. 그러나 서비스의 이용 확산과 센서 네트워크의 관리를 용이하게 하기 위해서는 인터넷과의 연결이 반드시 요구된다. 최근 무선 센서 네트워크에는 수많은 무선 디바이스들이 사용될 것을 예상하여 이에 적합한 IPv6 기술 규격을 만들기 위한 6LoWPAN(IPv6 over Low power WPAN) WG(Working Group)이 설립되어 IETF(Internet Engineering Task Force) 정기 회의를 통해 표준화 작업을 진행하고 있다 [1, 2]. 6LoWPAN 기반에서는 각 센서 노드에게 IPv6 주소를 부여하며, 외부에 있는 IP 네트워크 내의 호스트가 6LoWPAN 내의 센서 노드에 직접 접근해 통신할 수 있도록 인

터넷과 센서 네트워크 간의 능동적 연계에 적합한 구조를 제공하고 있다. 그러나 IEEE 802.15.4에 바로 IPv6 패킷을 전송할 수 없기 때문에, Adaptation 계층을 추가로 두어야 하며, 트래픽 문제에 매우 민감하게 반응한다 [5, 11].

또한 Mobile IPv6는 단말 이동성을 제공하는 프로토콜이기 때문에 다른 링크로 이동시 시그널링 오버헤드가 많으며, 제한된 전력과 컴퓨팅 능력을 가지는 각 센서들에게 Mobile IPv6 프로토콜을 적용하여 이동성을 제공하는 방법은 매우 비효율적이다 [2, 3, 6, 7, 8, 12, 14, 15].

무선 네트워크 솔루션은 자유로운 이동성과 설치의 간편성이라는 장점이 있는 반면 전원의 한계라는 문제를 가지고 있다. 무선 솔루션이 전원으로 사용하는 건전지는 용량의 제한을 가지고 있다. 따라서 제한된 용량의 전원을 얼마나 오래 사용할 수 있느냐가 무선 솔루션이 성공하기 위해서 해결해야 할 가장 큰 문제라 할 수 있다 [1, 10].

따라서 본 논문에서는 실행 환경을 사용한 검증된 센싱 기술을 보여주는 전력 증폭기와 같은 역할을 담당하는 센서를 구현하였으며, 이를 통해 전력적 낭비를 최소화할 수 있도록 유도한다. 또한 6LoWPAN 시스템에 본 회로를 적용하여 근접 노드를 검색하여 접속할 수 있도록 하였으며, 실질적으로 일하지 않는 상태의 센서는 전력의 낭비를 방지하기 위해 휴면 상태(sleep mode)로 둔다 [6].

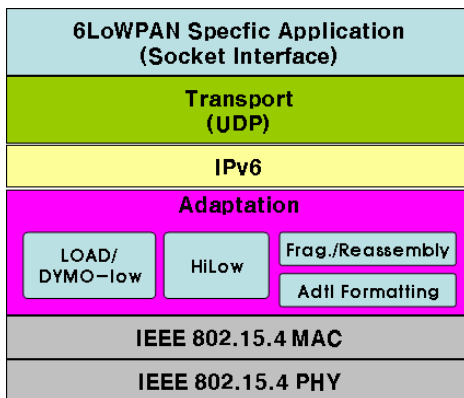
이러한 센서들이 안전에 가장 민감한 시설, 예를 들면, 원자력 발전소 운영, 비행기 비행 그리고 반도체 공정상에서 Fault가 발생할 경우 그 빠른 시간 내에 Fault를 찾아내고 그 Fault를 해결하기 위해 센서를 신속하게 찾아내고 처리 하지 않는다면, 이는 안전과 신뢰성 그리고 생산성에 큰 영향을 미치게 된다. 그러므로 휴면 상태(Idle)에 있는 센서는 본 논문에서 제시하고 있는 알고리즘을 통해 깨어날 수 있는 상태(Wake-up mode)로 복귀시키도록 하였다 [3, 4]. 본문중 제2장에서는 관련 연구에 대해 살펴보고 제3장에서는 제안하는 시스템의 적용 방안에 대해 살펴보도록 하였다.

제4장에서는 제안하는 알고리즘을 통해 시스템 성능 향상의 정도를 제5장에서 살펴보았으며, 마지막으로 제6장에서는 향후 연구에 대해 살펴보도록 하자.

II. 최근 연구 동향

2.1 6LoWPAN (IPv6 over Low Power Wireless PAN)

6LoWPAN은 LoWPAN의 저가격, 저전력의 시스템을 일정 지역에 상당히 많은 수의 네트워크를 형성하고 크기가 작고 저렴하여 기존 시스템과의 융합이 용이하다. 이러한 LoWPAN에 IPv6를 적용하여 많은 수의 네트워크 디바이스에 주소 할당이 용이하고, IP 적용은 그림 1과 같이 IPv6와 IEEE802.15.4의 Adaptation 계층이 필요하다. Adaptation 계층에서는 HiLow, LOAD와 같은 라우팅 프로토콜과 패킷의 단편화와 재조립과 같은 기능의 계층이 필요하다. 이러한 Adaptation 계층을 통하여 기존의 구축된 유선 네트워크 인프라를 이용하여 추가비용 없이 언제 어디서든 인터넷이 연결된 곳에서 6LoWPAN 센서 네트워크에 접속이 가능하다 [5, 11].



(그림 1) 6LoWPAN 프로토콜 스택

현재 6LoWPAN에서 논의하고 개발되고 있는

표준 기술들은 IP Adaptation -계층, 패킷 포맷, 상호 운용성, 주소부여 및 관리, 네트워크 관리, 동적 토폴로지 상에서의 라우팅, 보안, 발전(장치, 서비스 등) 구현 고려사항들이 논의되고 있다 [3, 4, 7].

2.2 IEEE 802.15.4 네트워크에서 IPv6 패킷 전송 방법

효율적인 경로 탐색 방법을 위해 헤더 압축을 통하여 경로 탐색의 효율성을 통하여 대용량의 데이터를 전송하기 위한 방안이 많은 연구를 통해 진행되고 있다. IPv6 패킷의 MTU 크기는 1280 byte이고 IEEE 802.15.4의 PDU(Physical Data Unit)는 127 byte이므로 IEEE 802.15.4 프레임에는 최대 크기를 갖는 IPv6 패킷을 넣을 수 없다. IPv6 노드가 대용량의 데이터를 전송해야 할 때 이 데이터는 복수의 IPv6 Packet으로 나뉘어 전송된다. 이때 이 Packet들은 일반적으로 발신지에서 목적지까지의 Path가 전달할 수 있는 가장 큰 크기로 보내는 것이 바람직하다 [5, 8, 13, 15]. 이 크기를 Path MTU(PMTU)라 하며 IPv6는 각 노드가 이를 발견 할 수 있는 표준 메커니즘을 규정한다. 더욱이 IPv6의 헤더는 40바이트의 크기를 가지기 때문에 상위계층의 프로토콜은 41바이트의 여유 공간을 가지게 되고, 8바이트 크기를 갖는 UDP와 20 byte 크기를 갖는 TCP를 사용하면 결국 어플리케이션 계층에서 사용할 수 있는 공간은 각 33, 21 byte를 가지게 된다. 이것은 결국 30 byte 정도의 데이터를 보내기 위해 사용하는 헤더의 크기가 40~60 byte 정도되며, 데이터 전송에 있어 매우 비효율적이라는 것을 의미한다. 그러므로 기존에 제안된 헤더 압축에 관한 RFC 2057, RFC 2058을 응용하여 IEEE 802.15.4에 적용하는 방안이 필요하다[8, 9].

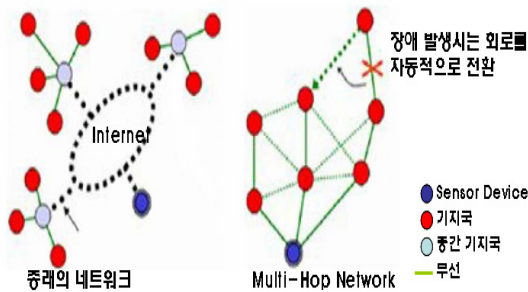
2.3 센서 네트워크

유비쿼터스 센서 네트워크는 단수의 U-센서 노

드간 애드 혹(Ad-Hoc), 멀티 홉(Multi-Hop) 통신으로 구성된다. 그러나 USN이 시작 단계인 현재 시점에서 과거 시리얼이나 이더넷으로 구성된 유선 네트워크를 ZigBee, Bluetooth, WiFi 등을 이용한 P2P(Point To Point) 무선 네트워크로 전환하는 이슈가 많은 부분을 차지하고 있다. 하지만 적용 범위가 넓고 별도의 광역 인프라를 구성하기 곤란한 경우, USN을 이용한 Ad-Hoc, Multi-Hop Mesh 네트워크를 구성하는 사례도 점차 늘어나고 있다 [1, 7].



(그림 2) Ad-Hoc sensor Network



(그림 3) Multi-Hop Sensor Network

Ad-Hoc Mesh Network는 고정된 네트워크 구조를 가지지 않고 이동 단말(Mobile Host) 사이에 임의로 구성되는 형태이다. 새로운 센서 노드가 추

가되거나 제거되는 경우 자동으로 노드간 최적 네트워크가 재구성되고, 각 노드가 직접 외부 네트워크와 연결되어 있지 않더라도 징검다리 형태의 홉 대 홉(Hop by Hop) 통신을 함으로써 최종 목적지인 게이트웨이 또는 베이스 스테이션으로 정보를 전달할 수 있다[9].

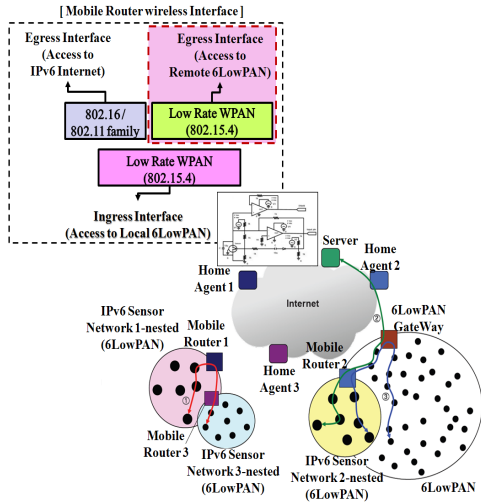
III. 제안된 저전력 센서시스템

본 장에서는 이동하는 센서 노드들에게 저전력 기반의 이동성을 제공하는 개선된 센서를 이용하여 6LoWPAN 간에 연동을 할 수 있도록 하는 이동 라우터 구조와 센서 단위의 네트워크 이동성에 적합한 라우팅 프로토콜의 적용 방안에 대하여 기술한다.

3.1 6LoWPAN 기반의 저전력 방안 모색을 위한 구조

센서노드와 상대 센서노드 또는 인터넷 내의 노드 사이에 데이터는 항상 MR(Mobile Router)의 HA(Home Agent)를 지나 우회하게 된다. 이 경우 MR과 HA에서는 패킷 처리에 대한 요구량을 증가시키게 되며, 결국 패킷 전송 효율도 낮아지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 그림 4와 같이 MR의 외부 인터페이스에 6LoWPAN 네트워크 접속을 위한 인터페이스를 추가한 것을 볼 수 있다. 6LoWPAN 외부 인터페이스를 통해서 MR은 경로최적화를 제공함과 동시에 멀티호핑도 가능하게 된다.

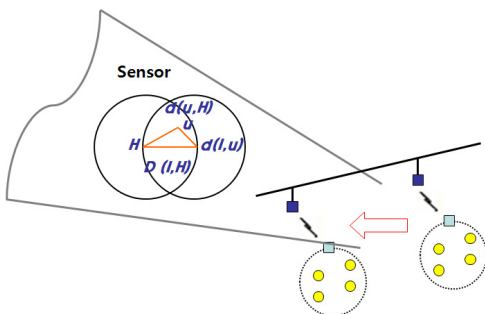
또한 기존 망에서 지원하지 않았던 Nested mobility를 지원하는 방안을 모색함에 있어서 가장 문제시되는 전력량을 최적화하여, 개선된 회로를 이용한 센서를 통해 근접 HA를 검색하며, 패킷 경로최적화를 시도함으로써 패킷의 전송률도 줄임으로써 소비 전력량에도 영향을 미치도록 본 논문에서 구성하였다.



(그림 4) 개선된 센서 회로를 적용한 6LoWPAN 시스템과 외부인터페이스 추가를 통한 경로최적화

3.2 개선된 센서 회로를 동반한 네트워크에 따른 단말의 이동성

그림 5는 단말의 이동성에 대한 개념을 나타낸 그림으로, PDA나 노트북, 휴대폰, 센서 등 단말 1개가 이동 단위로서 인터넷 접속 지점을 바꾸어가며 이동하여도 세션을 유지하며 통신을 할 수 있다는 것이 단말 이동성의 특징이다.



(그림 5) 네트워크에 따른 단말의 이동성

이 경우에는 이동이 계속되어 인터넷 접속 지점이 계속 변경 된다면 각각의 단말들이 독립적으로 자신들의 HA에 자신의 위치 변경 사항에

대해 알려야 할 것이다. 문제는 이러한 위치 변경을 알리는 시점이 모든 호스트들에게 거의 동일하기 때문에, 매번 위치가 바뀌에 따라 한꺼번에 자신들의 HA에게 Binding Update 메시지를 보내게 되며, 만일 호스트의 수가 많아지고 인터넷 접속 지점의 변경이 잦은 이동체의 경우 이러한 시그널링 횟수의 증가로 인해 망의 효율성은 현저히 떨어지게 될 것이다. 또한 이동시점에 따른 전력량에도 많은 부하가 걸릴 것이며, 이로 인한 에너지 효율성 또한 과도하게 떨어질 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 근접 HA를 찾기 위한 이동체의 노력을 본 논문에서 제안하는 개선된 회로를 이용한 센서를 통해 접근한다면 패킷 경로최적화를 시도함과 동시에 전력량에도 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다 [6, 7, 9, 11, 15].

IV. 제안하는 알고리즘을 통한 성능 평가 측정

개선된 센서를 이용하여 현존하는 네트워크의 구성에 따른 단말의 이동성을 확보하기 위하여 이를 성능 평가하여야 하며 증명하여 나가기로 한다. 전체적인 에너지 혹은 전력량을 측정하고 평가하기 위한 수식을 표현하면 Mobility와 센서의 근접 HA를 검색하게 하여 에너지량을 표현하면 아래와 같다.

$$E_{seg} = \frac{(N_{frag} + 1) \times N_{Hop} \times (E_{Rx} + E_{Tx})}{(1 - R_{err})^{N_{Hop}}} \quad (1)$$

부연하여 설명하면 수식 1은 전력량을 측정하기 위한 것으로, 전력량의 강함 정도로 근접 HA를 찾아내기 위해 발생하는 에러율과 패킷의 송수신에 따른 에너지량을 이용하였다.

이때, Eseg는 측정하고자 하는 전력량을, ERx는 패킷을 받기 위해 사용되는 에너지 양, ETx는 패

킷을 전송하기 위해 사용되는 에너지량이다. N_{frag} 는 단편화된 패킷의 개수, N_{Hop} 은 홉(Hop)의 개수이며, R_{Err} 는 홉간 에러율을 나타낸다. 위 식은 R_x , T_x 에 사용되는 에너지에 대한 이해가 중요하다. 즉, 패킷을 받을 때도 전송할 때와 같은 에너지가 사용된다는 것이다 [10].

또한, 수식 2는 근접해 있는 두 HA로부터 각각의 거리 d_1 (거리1)과 d_2 (거리2)를 계산하고자 하는 공식으로 다음과 같은 식으로 계산 할 수 있으며 이를 표현하기 위한 C , 커패시터의 값을 거리에 따라 표현하게 하면 더욱 알기 쉬운 값으로 표현된다 [7].

$$C = \frac{\lambda}{d} \quad (2)$$

d_1 과 d_2 가 변화함에 따라 커패시터의 값이 변하게 된다. 이때 분자의 값이 우리가 정의한 개선된 회로로 들어가고 그 값이 A/D컨버터와 DAQ(Data Acquisition)를 통해 우리가 원하는 정보를 얻을 수 있다.

수식 3은 센서가 휴면 상태에 있는 경우, 깨우기 위한 알고리즘이다. 즉, 필요하지 않은 센서의 휴면을 통해 전력량의 소비를 방지하기 위한 것이다 [3, 11].

$$w_x = \max\left(\frac{E_x * w}{E_{avg}}, w_{th}\right) \quad (3)$$

센서 x 가 활동할 때, 모든 이웃한 Host들의 평균 에너지 레벨(E_{avg})을 계산하게 된다. 그런 후, 센서 x 의 활동 여부를 결정하도록 한다.

E_x 가 센서 x 의 에너지 레벨로 정의되고, w 는 네트워크상에서 활동할 수 있도록 설정하는 것을 말하며, w_{th} 는 센서 x 가 능동적으로 활동할 수 있도록 하기 위한 가장 최소한의 에너지를 나타낸다. 그러므로 가장 높은 에너지 레벨을 가진 센서가 활동하는 동안 에너지 레벨 수치가 낮은 레벨

을 가진 센서는 휴식을 취하게 됨으로써 전력 소비를 예방할 수 있게 된다.

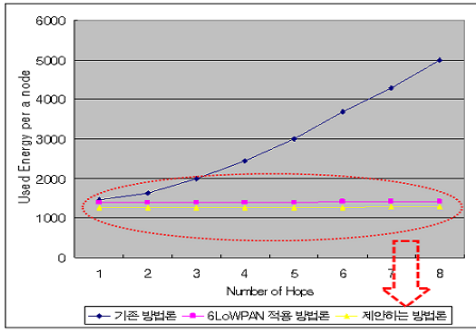
V. 성능 평가

모든 제안된 알고리즘과 기술들은 개선된 회로를 이용한 센서가 결합된 실험적인 플랫폼을 사용하여 테스트하였으며, 성능을 측정하기 위하여 표 1과 같은 시뮬레이션을 위한 파라미터들을 두었다. 이를 기반으로 NS-2 (Network Simulator 2) 시뮬레이터를 이용하여 이동 라우터의 수에 따른 라우팅 패킷 오버헤드와 End-to-End 패킷 딜레이를 측정하였다. 또한 발생하는 에러율에 따른 에너지 소비량도 측정하였다. 기 실험된 MEMS 회로의 구현을 위하여 시스템의 효율을 검증하기 위해서는 시스템의 Fault를 줄여야 한다. 우리는 RTL (Register-Transistor Level)을 통해 이미 검증 받은 개선된 센서를 통해 실험에 임하였다. AR은 Router를 통하여 100Mb Wired Link로 구성하고 AR 네트워크는 AODV 또는 LOAD 라우팅 프로토콜을 적용하여 메시 네트워크(Mesh-network)를 형성하였다. 각 이동 라우터는 3개의 이동 네트워크 노드를 포함하고 있다 [10, 11, 13, 14].

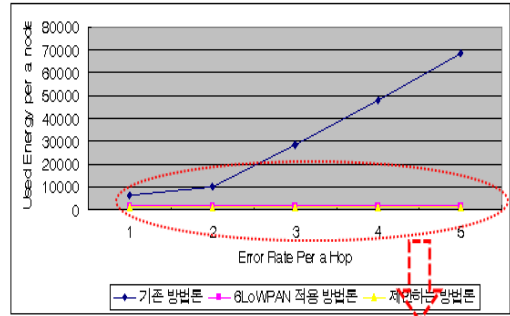
(표 1) 시뮬레이션을 위한 파라미터 값

Parameter	Values
Area Size	500m x 500m
Number of Nodes	10, 20, 40, 80
Transmission range	10m
Total time of simulation	120sec
Error rates	10/1 sec

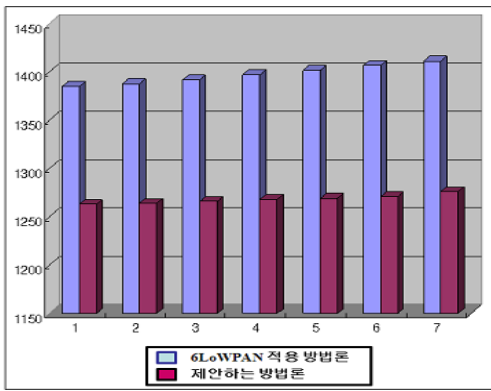
실험은 200개 세그먼트를 기존의 방식과 제안하는 방식으로 전송하여 수행하였다. 200개의 Segment는 0 ~ 1280byte 사이의 값으로 랜덤하게 크기를 정하였다. 세그먼트는 순차적으로 전송하되 동시에 한 개 이상 전송되는 경우는 없다고 가정하였다.



(a)

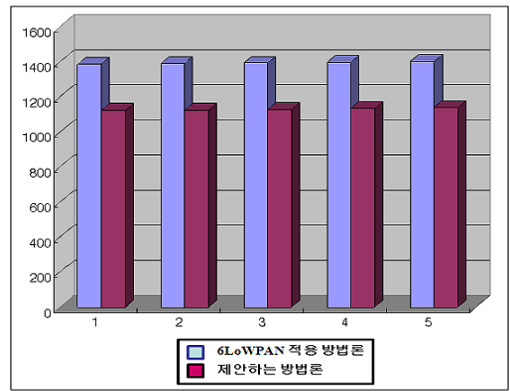


(a)



(b)

(그림 6) 에러율에 따른 에너지 소비량



(b)

(그림 7) Hop수에 따른 에너지 소비량

그림 6의 (a)와 (b)는 에러율을 0~5%로 증가시켰을 때, 200개의 세그먼트를 송신자로부터 수신자까지 도달하는데 걸리는 시간을 측정하는 것이다. 예상했듯이 제한한 기법이 기존의 기법보다 현저하게 적은 시간으로 전송하는 것을 알 수 있다. 또한 에러율이 높아지면 높아질수록 제한하는 기법은 정비례하게 증가하는 반면, 기존의 기법은 현저한 에너지 소비를 증가시킨다. 6LoWPAN은 주위 상황에 민감하게 반응한다는 것을 감안한다면 기존의 방법으로는 원활한 통신을 수행하기가 힘들다는 것을 예측할 수 있다. 에러율이 증가함에 따라 각 노드가 소모하는 에너지 측정량이 나타난다. 앞의 그래프와 같은 이유로 기존의 방식은 에러율이 증가함에 따라 에너지 소모가 현저하게 증가함을 알 수 있다. 즉, 제한하는 방법이 6LoWPAN 환경에서 저전력을 유지하게 해준다는 것을 알 수 있다.

그림 7의 (a)와 (b)는 Hop간 에러율을 1%로 고정하고 홉 수를 증가하면서 측정하는 것이다. Hop 수의 증가에 따른 에너지 소비량이 기존의 방법에서는 홉 수가 증가할수록 급격한 증가량을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 즉, 기존 방법은 급속한 증가로 인해 6LoWPAN에서는 치명적인 오버헤드를 가져온다고 볼 수 있다. 반면에 제한하는 방법론을 통해서 매우 현저한 에너지 소비량의 결과를 얻을 수 있었다.

VI. 결론 및 향후 연구 방향

에러율이 높은 6LoWPAN 환경에서 단편화된 패킷들은 누락될 확률이 높으며, 그로 인해 전력량의 소모량이 매우 크다는 것을 확인하였다.

6LoWPAN에 관한 연구는 몇 년간 계속 이루어지고 있으며, 현재도 라우팅, 서비스 발전 등의 확장하기 위한 연구가 진행되고 있다. 하지만 저전력을 추구하는 환경인만큼 확장성에 관한 연구 이상으로 전력을 최소화하기 위한 연구도 활발히 이루어져야 할 것이다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 전력을 효율적으로 최소화하기 위한 방안으로 USN의 센서 회로와 알고리즘을 새롭게 제안하였다. 우리가 새로이 제안한 알고리즘을 통해 최대 13.6%의 에너지를 절감하였고, 제안한 센서 회로 설계를 통해 최대 16.2%의 에너지 절감을 보였다. USN의 전망을 고려했을 때 새롭게 제안된 회로 설계와 알고리즘은 큰 기대를 모을 것으로 기대한다.

Acknowledgement

This research was supported by the MIC(Ministry of Information and Communication), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program supervised by the IITA (IITA-2009-C1090-0902-0040). This research was supported by the Korea Science and Eng. Foundation (KOSEF) grant funded by the Koreagov.(MOST) (No.R01-2007-000-20599-0), (No.20090069991), and The circuits was fabricated in IC Design Center(No.M20809005636-08130900-63610).

참 고 문 헌

- [1] Mingxia Xu, Minjian Zhao, Shiju Li, "Lightweight and Energy Efficient Time Synchronization for Sensor Network, " Department of Information Science and Electronic Engineering, 23-26 Sept. 2005, Volume 2, 23-26
- [2] Awerbuch, B.; Holmer, D.; Rubens, H.; Chang, K.; Wang, I.-J., "The pulse protocol: sensor network routing and power saving, "Military communications Conference, 2004. MILCOM 2004. IEEE, Volume 2, 31 Oct.-3 Nov. 2004 Page(s):662 - 667
- [3] Hsi-Feng Lu; Yao-Chung Chang; Hsing-Hsien Hu; Jiann-Liang Chen, "Power-efficient scheduling method in sensor networks," Systems, Man and Cybernetics, 2004 IEEE International Conference on, Volume 5, 10-13 Oct. 2004 Page(s):4705 - 4710
- [4] Dong-Hyun Chae; Kyu-Ho Han; Kyung-Soo Lim; Kyeung-Hak Seo; Kwang-Ho Won; We-Duke Cho; Sun-Shin An, "Power saving mobility protocol for sensor network," Software Technologies for Future Embedded and Ubiquitous Systems, 2004. Proceedings. Second IEEE Workshop on 11-12 May 2004 Page(s):122 - 126
- [5] Bergamo, P.; Maniezzo, D.; Mazzini, G., "RWPS: a low computation routing algorithm for sensor networks," Information, Communications and Signal Processing, 2003 and the Fourth Pacific Rim Conference on Multimedia. Proceedings of the 2003 Joint Conference of the Fourth International Conference on Volume 2, 15-18 Dec. 2003 Page(s):1071 - 1075 vol.2
- [6] DeCleene, B.; Firoiu, V.; Dorsch, M.; Zabele, S., "Cross-Layer Protocols for Energy-Efficient Wireless Sensor Networking," Military Communications Conference, 2005. MILCOM 2005. IEEE 17-20 Oct. 2005 Page(s):1 - 8
- [7] Owrang, M.; Mirza, D.; Schurgers, C., "Delay-bounded adaptive power saving for ad hoc and sensor networks," Vehicular Technology Conference, 2005. VTC-2005-Fall. 2005 IEEE 62nd Volume 4, 25-28 Sept., 2005 Page(s):2337 - 2341
- [8] Paruchuri, V.; Durreesi, A.; Barolli, L., "Energy Aware Routing Protocol for Heterogeneous Wireless Sensor Networks," Database and Expert

- Systems Applications, 2005. Proceedings. Sixteenth International Workshop on 22-26 Aug. 2005 Page(s):133 - 137
- [9] Schiller, J.; Liers, A.; Ritter, H.; Winter, R.; Voigt, T., " ScatterWeb - Low Power Sensor Nodes and Energy Aware Routing," System Sciences, 2005. HICSS '05. Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on 03-06 Jan. 2005 Page(s):286c - 286c
- [10] Xiao-Hui Lin; Yu-Kwong Kwok, "On channel adaptive energy management in wireless sensor networks," Parallel Processing, 2005. ICPP 2005 Workshops. International Conference Workshops on 14-17 June 2005 Page(s):397 - 404
- [11] Jian Ma; Min Gao; Qian Zhang; Ni, L.M.; Wenwu Zhu, "Localized Low-Power Topology Control Algorithms in IEEE 802.15.4-Based Sensor Networks," Distributed Computing Systems, 2005. ICDCS 2005. Proceedings. 25th IEEE International Conference on 06-10 June 2005 Page(s):27 - 36
- [12] Jim Snow; Wu-chi Feng; Wu-chang Feng, " Implementing a low power TDMA protocol over 802.11," Wireless Communications and Networking Conference, 2005 IEEE Volume 1, 13-17 March 2005 Page(s):75 - 80 Vol. 1
- [13] Lindsey, S.; Raghavendra, C.S., "PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems," Aerospace Conference Proceedings, 2002. IEEE Volume 3, 2002 Page(s):3-1125 - 3-1130 vol.3
- [14] Jeong, T.; Ambler, A., "PESFA Mission: Power Efficiency System for Flight Application," IEEE Transactions on Aerospace and Electronics System, 2006 Page(s):1510 - 1515 Vol.4
- [15] Handy, M.J.; Haase, M.; Timmermann, D., "Low energy adaptive clustering hierarchy with deterministic cluster-head selection," Mobile and Wireless Communications Network, 2002. 4th International Workshop on 9-11 Sept. 2002 Page(s):368 - 372
- [16] Yuh-Shyan Chen; Chao-Yu Chiang, "PER: a power-life extension routing protocol using a round robin scheme for mobile ad hoc networks," Emerging Technologies: Frontiers of Mobile and Wireless Communication, 2004. Proceedings of the IEEE 6th Circuits and Systems Symposium on Volume 1, 2004 Page(s):5 - 8 Vol.1

● 저 자 소개 ●



최 인 화(Inhwa Choi)

2007년-현재 서울여자대학교 미디어학부 박사과정
관심분야 : 통신시스템 및 데이터 방송
e-mail : urangi@swu.ac.kr



하미드 잡발(Hamid Jabbar)

2008년- 현재 NESCOM, Pakistan
2006년 - 2008년 Myongji University M.S.
2002년 National University of Sciences & Technology (NUST), Pakistan
1998년 P.A.F Intermediate College, Chaklala, Rawalpindi, Pakistan
관심분야 : 고성능 시스템 설계, 센서 및 무선 RFID 설계
e-mail : hamid@mju.ac.kr



황 준(Jun Hwang)

1992년-현재, 서울여자대학교 정보미디어대학 미디어학부 교수
1991년 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업
1987년 중앙대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업
1985년 중앙대학교 컴퓨터공학과 졸업
관심분야 : 통신시스템 및 데이터 방송
e-mail : hjun@swu.ac.kr



박 경 린(Gyungleem Park)

1998년-현재, 제주대학교 전산통계학과 교수
1993년-1997년, University of Texas at Arlington, Ph.D.
1989년-1992년, University of Texas at Arlington, MS
관심분야 : 텔레메틱스, 통신시스템, 데이터 방송
e-mail : glpark@cheju.ac.kr



정 태 경(Taikyeong Jeong)

2006년-현재, 명지대학교 통신공학과 조교수
2004년-2006년 Univ. of Delaware, joint collaboration with NASA GSFC, Research Associate
2000년-2004년 University of Texas at Austin, Ph.D.
1998년-2000년 University of Texas at Austin, M.S.
2001년-2002년 IBM Austin Research Laboratory.
1999년-2001년 Cisco Systems. Inc.
관심분야 : 통신회로설계, 고성능 반도체설계, 아날로그 회로
e-mail : ttjeong@mju.ac.kr