

무선센서네트워크에서 LEACH 라우팅 프로토콜을 적용한 파티클 센서의 에너지 효율적인 알고리즘

홍성화^{1†} · 김훈기¹

The Algorithm for an Energy-efficient Particle Sensor Applied LEACH Routing Protocol in Wireless Sensor Networks

Sung-Hwa Hong · Hoon-Ki Kim

ABSTRACT

The sensor nodes that form a wireless sensor network must perform both routing and sensing roles, since each sensor node always has a regular energy drain. The majority of sensors being used in wireless sensor networks are either unmanned or operated in environments that make them difficult for humans to approach. Furthermore, since many wireless sensor networks contain large numbers of sensors, thus requiring the sensor nodes to be small in size and cheap in price, the amount of power that can be supplied to the nodes and their data processing capacity are both limited. In this paper, we propose the WSN(Wireless Sensor Network) algorithm which is applied sensor node that has low power consumption and efficiency measurement. Moreover, the efficiency routing protocol is proposed in this paper. The proposed algorithm reduces power consumption of sensor node data communication. It has not researched in LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) routing protocol. As controlling the active/sleep mode based on the measured data by sensor node, the energy consumption is able to be managed. In the event, the data is transferred to the local cluster head already set. The other side, this algorithm send the data as dependent on the information such as initial and present energy, and the number of rounds that are transformed into cluster header and then transferred. In this situation, the assignment of each node to cluster head evenly is very important. We selected cluster head efficiently and uniformly distributed the energy to each cluster node through the proposed algorithm. Consequently, this caused the extension of the WSN life time.

Key words : Sensor Network, Routing, Energy, LEACH, Active/Sleep

요약

무선 센서 네트워크 환경에서 네트워크를 구성하는 센서 노드들은 라우팅 및 센싱 역할을 함께 수행해야 하기 때문에 각 센서 노드들은 항상 에너지 부담을 가지고 있다. 이러한 무선 센서 네트워크에 사용되는 센서는 무인으로 동작 되거나 사람이 접근하기 힘든 환경에서 동작하는 경우가 대부분이다. 또한 다량의 센서를 배치하여 무선 센서 네트워크를 형성 하는 경우가 많아 센서 노드의 크기가 작아야 하고, 가격이 저렴해야 하므로 노드에 공급할 수 있는 전원의 양과 데이터 처리 능력에 제한이 있게 된다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 센서 노드의 전력 소모를 줄이고, 망을 효율적으로 관리할 수 있는 알고리즘과 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안하고, 제안한 알고리즘을 LEACH 프로토콜에 적용시켜 에너지 효율성을 검증하였다. Particle Sensor에서 이전 주기에 측정된 값과 현재 주기에 측정된 값을 비교하여 현재 측정된 값이 작거나 같으면 먼지가 감소하고 있다고 가정하고 다음 주기에 sleep모드를 설정해 주어 센서 노드의 에너지 소비를 줄여주는 알고리즘이다. 제안한 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 보면 센서 노드의 에너지 소모를 향상시켜 주었고, LEACH 라우팅 프로토콜에 적용시킨 결과 네트워크의 수명을 향상 시켰다.

주요어 : 센서 네트워크, 라우팅, 에너지, LEACH, Active/Sleep

1. 서 론

최근 정보통신 기술의 급격한 발전으로 기존의 단순한 역할을 하던 컴퓨터는 하나의 정보단말기로 우리의 실생활에 밀접한 영향을 주고 있다. 이러한 기술의 발전으로 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing)이라는 새로운 정보통신 혁명을 야기하게 되었고, 이것은 기존의 농업혁명, 산업화 혁명과 다르게 단순히 혁신적인 기술의 발전을 말하는 것이 아닌 모든 현실 공간의 사물과 가상 공간이 하나로 어우러져 조화를 이루는 혁명을 의미한다. 또한 이러한 환경은 다양한 센서 소재의 개발, MEMS 기술, 저전력 RF 설계 기술 등 하드웨어 기술의 발전과 더불어 무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Networks)를 가능하게 하고 있다.

이러한 기술의 발달과 사회 전반적으로 일고 있는 웰빙(Well-being)문화의 확산으로 인해 개인적인 삶의 질 뿐만 아니라 사회의 안정성과 환경 보전 문제까지 관심 영역이 확대되고 있다. 자연 에너지 문제, 환경오염, 기상 재해 등의 문제를 IT 기술을 통해 관리하기 시작했고, 센서 네트워크가 큰 역할을 담당하기 시작했다. 이미 많은 국제 연구기관과 선진국들은 환경보호정책과 IT전략을 연계하여 환경 보존에 대한 관심을 표출하고 있으며, 여러 프로젝트에서 지속가능한 발전을 위해 연구하고 있다. 대표적인 프로젝트로 유럽에서 수행하고 있는 화산폭발 모니터링, 미국에서 수행하고 있는 화학제품 등의 유해폐기물 추적, 일본에서 수행하고 있는 기상 방재 정보 시스템 관리 등이 있다. 우리나라에서도 센서 네트워크를 이용하여 지능형 사회를 만들기 위한 작업이 가속화 되고 있으며, 환경 분야에서도 이러한 연구개발이 진행되었다¹⁾. 그 중 하나인 “USN 기반의 제주연안 해양환경 정보수집 시스템 구축” 과제는 제주연안에 설치한 센서를 통해 해수의 용존산소량, 온도 등의 데이터를 수집하여 환경재해나 해양오염으로 인한 생태계의 변화를 감지하고 대응하는 목적으로 수행되었다. 또한 “식수원관리를 위한 수질 모니터링” 과제에서는 소양강 유역의 수온, 탁도, pH, 이온 등을 측정하여 싱크 노드(Sink node)를 통해 데이터를 중앙 관제소에 실시간으로 보내 모니터링을 하였다. 이처럼

무선 센서 네트워크는 공공재의 성격을 갖는 환경, 교통, 기후 등의 서비스를 제공하는 인프라로 발전될 가능성이 크다. 그 중 환경과 관련된 센서 네트워크 기술은 특성상 응용분야가 다양하며, 응용이 쉽기 때문에 앞으로 많은 활용이 이루어질 것이다. 하지만 응용 기술이 다양한 반면에 센서 기술은 아직 소비자들의 욕구를 만족시켜주지 못하고 있다^{2,11)}.

이미 언급한 바와 같이 무선 센서 네트워크에 사용되는 센서 노드는 환경을 감시하기 위해 무인으로 동작되거나 사람이 접근하기 힘든 환경에서 동작하는 경우가 대부분이다. 또한 다량의 센서를 배치하여 무선 센서 네트워크를 형성 하는 경우가 많아 센서 노드의 크기가 작아야 하고, 가격이 저렴해야 하므로 노드에 공급할 수 있는 전원의 양과 데이터 처리 능력에 제한이 있게 된다. 게다가 환경을 측정하는 센서 노드인 파티클 센서(Particle Sensor), NDIR방식의 CO₂ 가스 측정 센서(CO₂ Sensor) 등은 소비 전력이 상당히 크다. 이것은 제한된 전원을 갖는 센서 노드에서 큰 부담이 아닐 수 없다. 따라서 무선 센서 네트워크 프로토콜을 설계하는데 있어서 반드시 에너지 효율 문제를 고려하여 설계하는 것이 중요하다^{3,4)}.

본 논문에서는 환경 계측을 위한 무선 센서 네트워크의 운용에서 중요 문제로 대두 되고 있는 에너지 효율성에 대해 새로운 알고리즘을 제안하고 검증할 것이다. 제안하는 알고리즘은 기존에 나온 클러스터링 기반의 LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 라우팅 프로토콜에서 접근하지 않았던 센서 노드 자체의 에너지를 관리하여 데이터를 송수신 하는 전력 뿐만 아니라 센서 노드 자체의 에너지 소모를 줄일 수 있는 방법이다⁸⁾. 센서 노드에서 측정된 데이터를 바탕으로 Active/Sleep Mode를 제어해 줌으로써 효율적인 에너지 관리 뿐만 아니라 클러스터 헤드(Cluster Head)를 선정하는데 효율적이다.

본 논문의 구성은 1장의 서론에 이어 2장에서는 관련 연구인 파티클 센서 노드를 설명할 것이다. 3장에서는 네트워크 프로토콜에 관해 설명하고 4장에서는 제안된 알고리즘에 대해 설명하고, 성능분석을 통해 제안된 알고리즘을 검증 할 것이고, 마지막으로 5장에서 결론을 도출 할 것이다.

2009년 4월 7일 접수, 2009년 9월 23일 채택

¹⁾ 동양공업전문대학 전산정보학부

주 저 자 : 홍성화

교신저자 : 홍성화

E-mail; shhong@dongyang.ac.kr

2. 에너지 효율을 적용한 파티클 센서 알고리즘

현재 사용되고 있는 파티클 센서는 파티클 카운터(Particle Counter)에 비해 저농도의 미세먼지를 측정하지는 못하지만 저비용이며, 소형이다. 또한 현재 출시되고 있는 제품은 PM10 정도의 측정이 가능한 것으로 보고되고 있다.

이러한 황사현상에 대한 상황을 이해하고 그 영향에 대처하기 위한 일련의 연구가 진행되어 왔는데, 기존의 연구는 황사의 발생과 수송 매커니즘에 대한 대기 물리학적 연구, 황사의 화학적 특징 및 구성 성분에 대한 대기 화학적 연구, 황사 발생 및 이동에 대한 기상학적 연구 등이 주를 이루었다. 이들 연구는 주로 학술적 차원에서 황사 현상을 모니터링 하고 황사의 물리 화학적 특성을 분석하는데 중점을 두었다. 하지만 황사에 대한 종합적인 대책 수립 및 피해의 최소화에 대한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 논문에서 다뤄질 문제는 무선 센서 네트워크의 장점 중에 하나인 대규모의 네트워크 구성이 가능하고, 접근이 불가능한 지역에 센서 노드를 설치하여 데이터를 원격으로 검출 할 수 있는 특징을 이용해 넓은 지역의 먼지를 모니터링 하여 황사가 발생했을 때 빠른 대처가 가능하도록 하는 것이다. 하지만 파티클 센서뿐만 아니라 다른 센서 노드 역시 소비전력이 큰 단점이 있다. 이러한 단점을 제안하고자 하는 에너지 효율적인 파티클 센서 알고리즘을 통해 극복하고자 한다.

파티클 센서의 수광부에서 수신된 신호는 여러 단계의 먼지크기 레벨을 설정하여 비교기에 연결된다. 비교기에서는 수신된 신호가 설정된 레벨보다 높은 전압일 경우 Low로 떨어지게 되어 있다. 비교기의 출력단자에서 출력되어 나오는 펄스 신호는 MCU의 입력포트로 연결이 되고 출력된 펄스신호에서 Falling edge를 계수하여 먼지의 개수를 파악할 수 있다. 그리고 Mie 산란 이론에서 산란된 빛의 강도는 먼지의 농도와 함께 증가한다고 밝혔고, 식 (1)과 같이 복사주파수의 두 배에 비례한다고 알려졌다^[5,11].

$$I = Kf^2 \tag{1}$$

여기에서 I는 산란된 빛의 강도이며, K는 비례상수, f는 빛의 파장을 말한다. 이렇게 측정된 빛의 강도를 통해 먼지의 크기를 알 수 있다. 그리고 펄스폭을 측정하여 먼지의 농도를 계산할 수 있다. 먼지 농도는 각 사이드 별로 측정이 가능한데 아래와 같이 계산할 수 있다^[6].

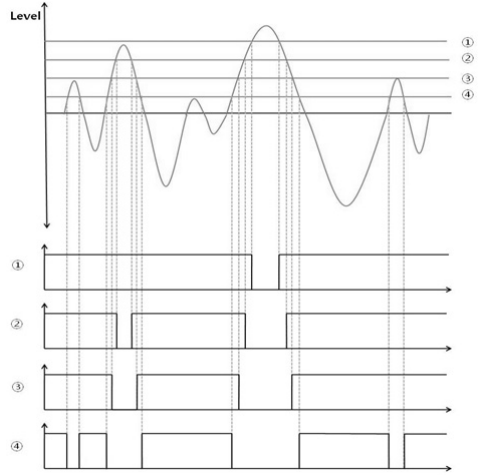


그림 1. 수광부의 신호와 비교기 설정레벨 및 출력펄스

$$Pc = (Low Pulse Occupancy Time)/(Unit Time) \tag{2}$$

또한, 먼지 개수를 카운트한 값을 질량농도(mg/m^3)로 변환할 수 있는데, 변환을 하기에 앞서 변환계수인 K값을 구해야 한다. K값은 여과포집장치와 파티클 센서를 일정 시간 측정하여 구하고 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K = C/R \tag{3}$$

여기에서 C는 질량농도 변환계수이고, R은 여과포집 장치에 의한 질량농도를 mg/m^3 단위로 구한 것이며, K는 상대농도로서 CPM(Count per minute)값을 나타낸다. 여기서 나온 K값으로 상대농도로부터 질량농도로 변환할 수 있는데 다음과 같이 나타낸다.

$$Mass Concentration = R \tag{4}$$

그림 1은 파티클 센서의 수광부의 신호와 비교기 레벨 설정, 그리고 출력 펄스를 나타낸다. 산란된 빛을 수광부인 포토다이오드에서 전기적 신호로 변환하면 아래와 같이 표시되고, 이 신호를 설정된 4가지 레벨로 구분하면 각각의 크기에 맞는 펄스로 변환되어 출력된다. 그리고 측정된 데이터는 MCU에서 그림 2의 흐름도와 같이 처리된다.

출력되는 데이터의 신호처리 방법은 가장 작은 먼지를 측정할 수 있는 레벨의 신호에서 Falling edge가 검출이 되면 타이머 인터럽트가 시작된다. 그리고 Low펄스가 계속되는 동안 시간을 측정하게 된다. 이때 최소 레벨에서 측정할 수 있는 먼지 사이즈 보다 큰 먼지를 상위 레벨에

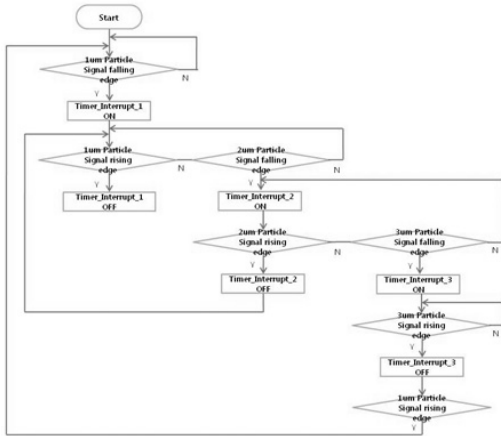


그림 2. 데이터 처리 알고리즘

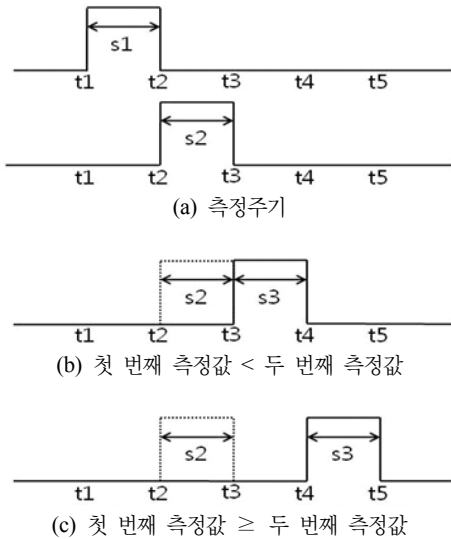
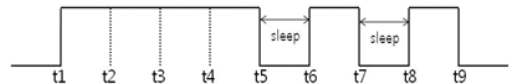


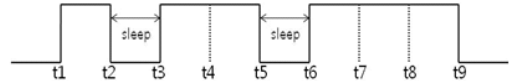
그림 3. 센서 노드의 측정 주기

서 검출하면 데이터 처리 루프는 새로운 타이머 인터럽트를 발생시키고 Rising Edge를 기다리게 된다. 이러한 방법으로 여러 개의 먼지 크기 측정 레벨을 설정하여 각 레벨의 Low Pulse시간을 계산할 수 있다.

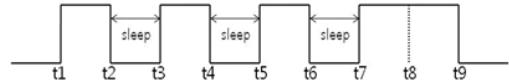
이러한 측정 방법을 이용하여 식 (4)와 같이 펄스 개수에서 질량농도로 변환이 가능하며 그림 3에 나온 제안된 알고리즘과 같이 측정 주기 안에서 질량 농도로 계산한다. 각 주기 안에서 측정원리를 자세히 살펴보면 첫 번째 측정주기인 s1과 두 번째 측정주기인 s2에 측정된 먼지 농도를 비교하여 s1 구간에 측정된 값이 s2 구간에 측정된 값보다 작으면 측정 주기는 t3에서 s3구간이 시작된다. 그러나 s1 주기의 먼지 농도 값이 s2 주기의 먼지 농도 값



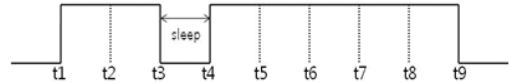
(a) Sensor Node 1



(b) Sensor Node 2



(c) Sensor Node 3



(d) Sensor Node 4

그림 4. 센서 노드의 Active/Sleep

보다 크다면 t3에서 t4의 구간은 sleep 모드로 전환이 되어 에너지 소모를 줄이고, s3 측정 주기는 t4에서 시작된다. 이것은 앞의 주기에 측정된 먼지 농도 값을 현재의 값과 비교하여 현재 값이 전의 값보다 낮다면 현재의 먼지 오염은 줄어들고 있다고 가정한 것이다. 그러나 반응 속도가 빠른 센서 노드나 이벤트가 발생했을 때 긴급하게 반응해야 하는 센서 노드의 경우 위의 알고리즘이 효과적이지 않을 수도 있다. 하지만 실제로 파티클 센서에서 먼지의 질량농도는 급변하게 변화되지 않기 때문에 sleep 모드를 설정하는 것은 큰 문제가 되지 않는다. 또한 센서 노드에서 에너지의 대부분을 소비하는 IR sensor와 Heater 저항 등을 sleep 모드 동안 off 시킴으로써 센서 노드의 에너지 효율성을 높일 수 있는 장점이 있다.

그림 4에는 파티클 센서 모듈의 Active/Sleep 주기를 설정하여 구동하는 모습을 나타내었다. 센서 노드 1에서는 t1구간에서 t4구간까지 측정하는 동안 먼지 농도가 계속 증가하였고, t4와 t5구간의 측정값은 바로 앞의 측정값인 t3에서 t4 구간의 값보다 낮아져서 t5가 시작되는 주기에 sleep 모드가 된다. 그리고 다시 기본 측정 주기가 시작되고 측정 주기가 끝나면 저장된 측정치와 비교하게 되고 저장된 값보다 낮기 때문에 t7에서 t8구간에 다시 sleep모드로 설정되었다. 이렇게 active 모드와 sleep 모드를 사용함으로써 소비 전력이 큰 센서 노드에서 sleep 모드로 진행되는 falling edge를 카운트 하여 sleep 모드가 적용된 주기의 횟수를 파악할 수 있다.

3. 향상된 LEACH Protocol

3.1 LEACH 프로토콜에 적용

LEACH 프로토콜^[8]은 노드 간의 계층 구조^[7]를 형성하여 전송 에너지 소모를 효과적으로 줄인 라우팅 프로토콜이다. LEACH는 Flooding이나 Gossiping 프로토콜과는 다르게, 가까운 노드들이 그룹을 형성하여 그룹을 대표할 클러스터 헤드를 선출한다. 그룹에 속한 다른 노드들은 자신이 측정된 데이터를 오직 클러스터 헤드에게만 전송하고, 클러스터 헤드는 그 데이터를 수집 노드에게 바로 전송함으로써, 패킷 전송에 참여하는 노드 숫자를 효과적으로 줄일 수 있는 기법이다.

LEACH의 성능은 매 라운드마다 일정한 수의 클러스터를 구성하고, 클러스터 헤드가 고르게 배치되는데 있으나, 자기 스스로 선출하는 방법으로는 이를 보장할 수가 없어, 싱크에서 센서 노드의 위치 정보와 에너지 보유량을 고려하여, 클러스터 헤드와 클러스터를 결정하는 LEACH-C^[9]기법도 제안되었다. TEEN은 센서 노드들이 주기적으로 전송할 데이터를 가지지 않는다는 점을 제외하고, LEACH와 유사하게 동작한다^[10].

본 논문에서는 LEACH 프로토콜에서 센서 노드의 에너지를 고려하여 클러스터의 헤드를 선정하는 방식을 제안한다. Sleep 모드로 진행될 시간과 횟수는 비교적 쉽게 측정할 수 있으므로, 이를 이용하여 클러스터 내에서 최대 에너지를 갖는 노드를 클러스터의 헤드로 선정한다. 제안하는 알고리즘은 다음과 같은 단계를 거쳐 네트워크를 형성하게 된다.

3.2 클러스터 구성과정

네트워크를 구성하는 단계는 초기에 클러스터 헤드 선택을 하는 것으로 시작한다. 어느 한 노드의 동작이 시작되면 다른 노드로부터 송출되는 정보 메시지(IM : Information Message)를 기다린다. 만약 일정한 시간 동안 기다린 후에도 메시지를 수신하지 않으면 자신이 클러스터 헤드가 되어 IM메시지를 송출한다. 이 새로운 클러스터 헤드는 일정한 시간 동안 이웃 노드로부터 응답을 기다린다. 만약 어떠한 연결 요구도 받을 수 없으면 다시 일반 노드로 돌아가 IM 메시지를 수신하는 것을 기다리게 된다. 하지만 이 IM메시지를 받은 노드가 있다면, 노드는 클러스터 헤드로 연결요구(CON REQ) 메시지를 송출한다. 이 메시지를 받은 클러스터 헤드는 연결요구를 요청한 노드를 위해 연결응답(CON RES) 메시지로 응답을 한다. 다시 응답 메시지를 받은 노드는 ACK 메시지를



그림 5. 클러스터 구성과정

보냄으로써 링크 연결을 완료하며 자신의 이웃 목록(Neighbor List)에 각각 parent와 child로 설정한다. 이러한 과정을 통해 클러스터 헤드가 선출되면 헤드는 IM을 바탕으로 클러스터를 구성하며 클러스터 헤드로 선출된 노드는 싱크 노드로 자신의 멤버 노드를 알리게 된다. 그림 5는 이러한 클러스터 구성 과정을 나타낸다.

3.3 클러스터 헤드 선정 과정

네트워크의 효율적인 에너지 사용을 위해 클러스터가 구성된 이후에 클러스터 헤드는 주기적으로 바뀌게 되는데, 제안된 알고리즘으로부터 클러스터 헤드를 선정하게 된다. 클러스터 헤드는 클러스터 멤버 노드로부터 전송 받은 데이터를 싱크 노드로 직접 전달하는 역할을 하게 된다. 클러스터 헤드는 클러스터 멤버들의 sleep모드로 들어가게 된 횟수를 종합하여 더 많은 에너지를 보유하고 있는 센서 노드를 다음 라운드의 클러스터 헤드로 선정한다. 단일 홉 클러스터에서 클러스터 멤버 노드는 주기적으로 메시지를 발송하게 되는데, 연결요구(CON REQ) 메시지를 보내게 될 때 자신의 보유 에너지 양을 포함하여 보내게 된다. 이때의 에너지양은 앞서 파티클 센서 알고리즘에서 살펴본 바와 같이 더 많은 Low Pulse 주기를 가진 센서 노드들이 다른 센서 노드들에 비해 에너지가 많다고 가정하고 Falling Edge를 카운트한 횟수를 말한다. 클러스터 헤드는 자신의 모든 멤버 노드들의 라운드가 끝나면 SS(Sensor State)메시지에 포함된 센서 노드의 에너지 양을 클러스터 헤드 선정 요청 메시지(CHS REQ)를 통해 싱크 노드로 전송하게 되고, 싱크 노드는 포함된 정보 중 에너지 양을 비교하여 다음 라운드의 클러스터 헤드를 선정하여 클러스터 헤드 선정 응답 메시지(CHS RES)를 통해 클러스터 헤드에게 전송한다. 그리고 다음 라운드의 클러스터 헤드로 선정된 노드를 연결응답 메시지를 통해 전체 멤버 노드에게 알리게 된다. 그림 6은 이러한 클러스터 헤드 선정 과정을 나타낸다.

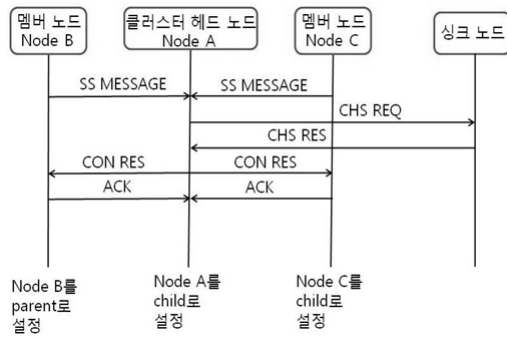


그림 6. 클러스터 헤드 선정 과정

4. 성능 분석

이 장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 파티클 센서에서의 에너지 효율을 NI(National Instruments)에서 개발한 GUI 프로그래밍 언어인 LabVIEW버전 8.2로 평가하고, LEACH 라우팅 프로토콜에서의 클러스터 헤드 선정평가 방법은 NS2(Network Simulator)^[12]를 사용한다. 기존에 제안된 방식인 LEACH 프로토콜에서 클러스터의 헤드 선정방법을 새롭게 제안된 헤드 선정방법과 비교하여 제안된 알고리즘을 통한 성능의 우수성을 평가한다.

4.1 Particle Sensor의 에너지 효율

제안된 파티클 센서 알고리즘은 앞서 2장에서 밝혔듯이 일정한 주기를 선정하고 구동주기에 측정된 먼지 농도를 앞서 측정된 농도와 비교하여 새롭게 측정된 농도가 낮거나 같다면 다음 주기에 sleep모드를 설정해 준다. 이러한 알고리즘을 통해 실제 구동시간을 줄여주고 전력소비를 줄여주어 에너지의 효율을 높이는 방법이다. 이러한 알고리즘을 평가하기 위해 NI의 LabVIEW를 통해 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 7과 그림 8에 LabVIEW를 사용한 시뮬레이션 프로그램을 나타낸다.

블록 다이어그램의 구성은 그림 8과 같이 발광부, 수광부, 광학렌즈 등으로 구성 되어있다. 공기중의 부유먼지에 대해 자연대류 또는 강제적인 대류를 시키고 초점이 맞추어진 조광영역에 먼지가 있으면 산란된 빛이 수광부로 들어가게 된다. 수광부에서는 광량에 비례하여 전류가 발생되는데 이 전류를 전압으로 변환하고, 증폭시켜 먼지의 개수와 크기를 알 수 있다.

파티클 센서의 농도 측정을 위해 랜덤(Random) 함수를 사용하여 0에서 1까지의 임의의 수를 먼지 농도라고 가정하였고, 배열에 저장될 수 있게 하였다. 여기에서 측

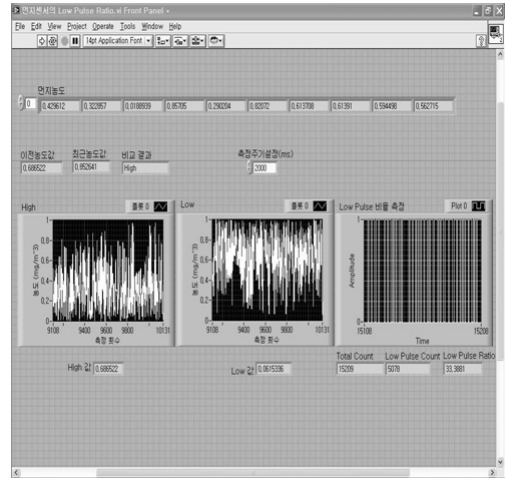


그림 7. LabVIEW 시뮬레이션 Front Panel

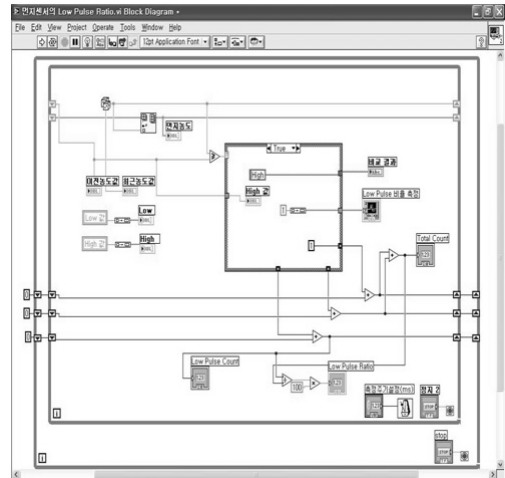


그림 8. LabVIEW 시뮬레이션 Block Diagram

정된 먼지 농도의 현재의 값과 이전의 값을 비교하여 작거나 같으면 sleep모드로 들어가게 하여 출력된 그래프에 0으로 표시되게 하고, 반대로 현재의 값이 이전의 값보다 클 경우에는 1로 표시하여 active 모드임을 나타내었다. 또한 측정 주기를 변경할 수 있게 하여 측정 주기에 따른 sleep 모드 측정시간을 확인할 수 있게 하였다. 전체 시간에 대한 sleep모드의 비율을 확인하기 위해 간단한 수식을 사용해서 Low Pulse Ratio를 표시하였다.

전체 측정 시간에 따른 Low Pulse Ratio를 측정하기 위해 전체 네트워크 시간이라 할 수 있는 Total Count의 수를 5,000개와 10,000개로 설정하였고, 이때의 측정 주기를 10초, 30초, 1분으로 설정하여 각각 측정하였다. 그

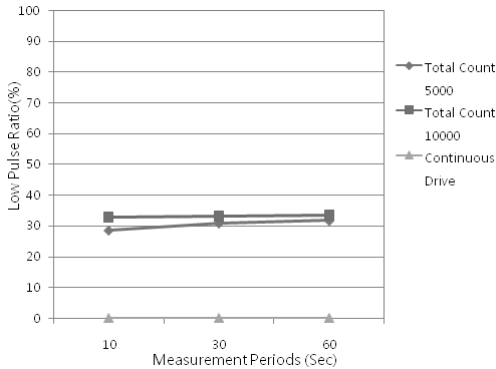


그림 9. 파티클 센서 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 결과

표 1. 시뮬레이션 파라미터

항목	값
네트워크 크기	100m×100m
센서 노드의 개수	100개
클러스터에서 노드의 수	5개
노드의 위치	Manual
라운드 시간	5분
노드의 초기 에너지량	동일
데이터 패킷 크기	64 bytes

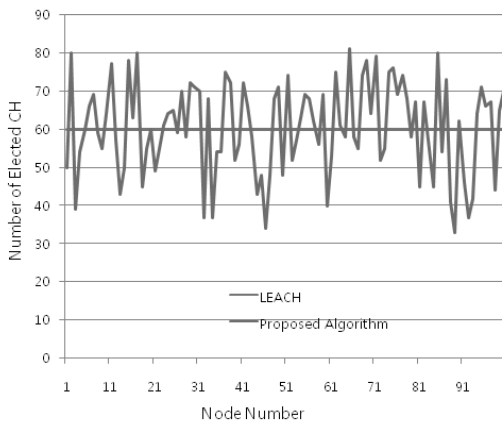


그림 10. 클러스터 헤드 선출 횟수

리고 비교 상으로 일반적으로 사용하고 있는 연속 구동 방식을 선택하였다.

그림 9의 시뮬레이션 결과에는 일반적인 연속구동 방식과 전체 구동시간의 비교가 나타나 있다. 결과를 보면 총 구동시간이 길어질수록 안정적인 결과를 나타내고 있고, 이때의 에너지 소비 효율은 연속구동 방식에 비해 약

35%정도의 에너지 소비를 줄일 수 있는 것을 보이고 있다. 제안된 알고리즘은 이론상으로는 초기값이 최대값인 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 을 가질 때 에너지 효율을 50%까지 높일 수 있지만, 장시간의 측정과 랜덤 함수의 특성상 위의 결과와 같은 에너지 효율을 나타내고 있다.

4.2 LEACH 프로토콜에서의 헤드 선정 평가

본 논문에서 제안한 LEACH 라우팅 프로토콜에서 헤드 선정 방법 알고리즘의 성능 평가를 위해 버클리 대학의 Network Simulator인 NS-2를 사용하였다. 이 때 기존의 방법에서는 일반적인 센서 노드의 평균 에너지 소비량이 높은 것을 기준으로 헤드를 선정하였으나 본 논문에서는 파티클 센서의 측정 방법으로 보다 향상된 에너지 소비를 이용하여 클러스터 헤드 선정 방법을 사용하였다. 기존의 클러스터링 방법인 LEACH 라우팅 프로토콜의 시뮬레이션과 제안한 알고리즘의 시뮬레이션을 통해 센서 노드의 평균 에너지 소비량과 살아있는 센서 노드의 개수, 그리고 노드별 클러스터 헤드로 선출되는 횟수, 라운드 회수에 따른 에너지 소모량 등을 파악하여 기존의 기법과 성능 비교 분석을 하였다.

4.2.1 시뮬레이션 환경 및 파라미터

시뮬레이션에서 구축한 네트워크 모델은 무선 센서 네트워크를 기본으로 하였다. 네트워크 크기는 $100\text{m} \times 100\text{m}$ 이고, 센서 노드의 개수는 100개로 설정하였으며 이에 대한 파라미터는 표 1에서 보여준다. 100개의 센서 노드에서 헤드의 수는 20개이며, 각 클러스터의 멤버 노드의 개수는 5개씩 설정하였다. 노드의 위치는 랜덤하게 설정하였고, 각 라운드의 시간은 5분으로 설정하여 5분마다 한번씩 멤버 노드의 에너지 소모량을 체크하여 클러스터의 헤드를 변경할 수 있게 하였다. 그리고 각 센서 노드의 초기 에너지 보유량을 동일하게 설정하였고, 데이터 패킷의 크기는 64bytes로 설정하였다.

4.2.2 성능 비교 결과

그림 10은 LEACH 라우팅 프로토콜과 제안된 알고리즘의 클러스터 헤드 선출 횟수를 나타낸다. 각 라운드를 5분으로 설정하였고 라운드가 끝난 후에 새로운 헤드를 선출하도록 하였다. 총 라운드가 300회 지난 후에 각 노드의 클러스터 헤드로 선정된 횟수를 확인하였다.

LEACH 프로토콜에서는 각 5개의 클러스터 멤버로부터 확률적인 변수로 인해 일정한 수의 헤드 선출이 이루어졌고, 제안된 알고리즘을 이용한 경우는 최소 33회에서

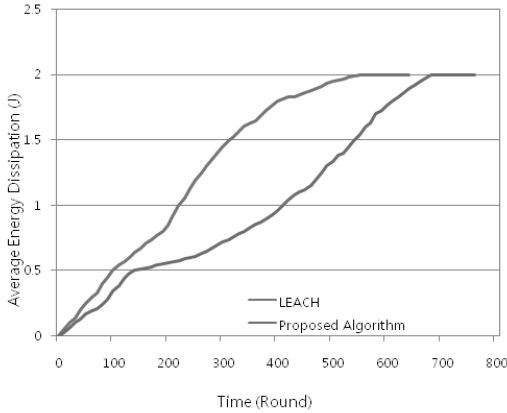


그림 11. 평균 에너지 소비량

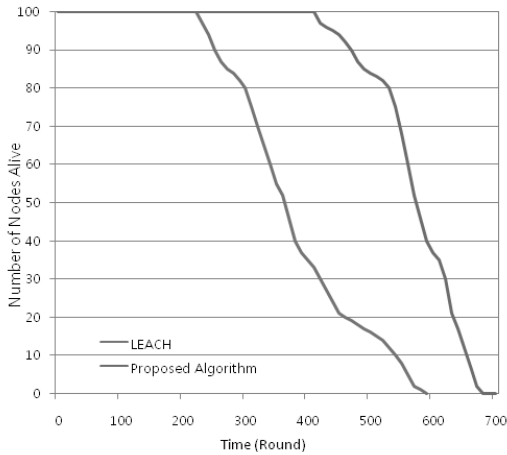


그림 12. 살아있는 노드의 개수

최대 81회까지 클러스터 헤드로 선출되었다. 이것은 LEACH 프로토콜의 클러스터 헤드 선출수인 60회를 100%라고 가정했을 때 최소 선출 횟수인 33회는 약 55% 수준임을 알 수 있고, 최대 선출 횟수인 81회는 약 131%임을 알 수 있다.

그림 11은 LEACH 라우팅 프로토콜과 제안된 알고리즘에서 센서 노드의 평균 에너지 소비량을 나타낸다. 초기 에너지를 모두 2J이라 가정하고 실험하였다. LEACH 라우팅 프로토콜에서는 라운드 수가 약 550회 진행된 후에 초기 에너지가 모두 소모되었고, 제안된 알고리즘에서는 약 680회 진행된 후에 초기 에너지가 모두 소진되었다.

그림 12는 LEACH 라우팅 프로토콜과 제안된 알고리즘에서 센서 노드의 라운드 별 살아있는 노드 개수를 나타낸다. LEACH 라우팅 프로토콜은 약 230회 라운드 이후부터 DEAD 노드가 발생하였다. 제안된 알고리즘에서

는 약 420회 라운드 이후부터 DEAD 노드가 발생하였는데 이것은 LEACH 프로토콜의 라운드 횟수보다 약 83% 증가한 횟수이다. 그리고 LEACH 라우팅 프로토콜에 비해 제안하고 있는 알고리즘에서 약 90회의 라운드가 증가한 이후에 모든 노드가 DEAD 노드로 되었고, 이것은 약 15% 정도 네트워크 수명이 길어진 것으로 볼 수 있다. 수명이 길어진 이유를 살펴보면 LEACH 라우팅 프로토콜과 달리 제안된 알고리즘에서는 앞서 클러스터 헤드 선출 횟수 실험에서 밝혔듯이 센서 노드들의 선출 횟수의 편차가 크기 때문에 클러스터 헤드로 선출되는 횟수가 적은 노드들은 더 오랜 시간 네트워크로 유지될 수 있기 때문이다.

5. 결론

유비쿼터스 컴퓨팅 기술을 비롯한 정보통신 기술의 발달과 사회 전반적으로 일고 있는 웰빙(Well-being)문화의 확산으로 인해 개인적인 삶의 질 뿐만 아니라 사회의 안정성과 환경 보전 문제까지 관심 영역이 확대되고 있다. 자연 에너지 문제, 환경오염, 기상재해 등의 문제를 IT 기술을 통해 관리하기 시작하였고, 센서 네트워크가 큰 역할을 담당하고 있다.

일반적으로 무선 센서 네트워크 환경에서 네트워크를 구성하는 센서 노드들은 라우팅 및 센싱 역할을 함께 수행해야 하기 때문에, 각 센서 노드들은 항상 에너지 부담을 가지고 있다. 이러한 무선 센서 네트워크에 사용되는 센서는 무인으로 동작되거나 사람이 접근하기 힘든 환경에서 동작하는 경우가 대부분이다. 또한 다량의 센서를 배치하여 무선 센서 네트워크를 형성하는 경우가 많아 센서 노드의 크기가 작아야 하고, 가격이 저렴해야 하므로 노드에 공급할 수 있는 전원의 양과 데이터 처리 능력에 제한이 있게 된다. 본 논문에서는 이러한 센서 노드의 에너지 효율성을 고려한 알고리즘을 제안하였고 제안한 알고리즘을 LEACH 프로토콜에 적용시켜 에너지 효율성을 검증하였다.

제안한 알고리즘은 Particle Sensor에서 이전 주기에 측정된 값과 현재 주기에 측정된 값을 비교하여 현재 측정된 값이 작거나 같으면 먼지가 감소하고 있다고 가정하고 다음 주기에 sleep모드를 설정해 주어 에너지 소비를 줄일 수 있는 알고리즘이다. 시뮬레이션 결과를 보면 실제 파티클 센서의 측정주기를 기준으로 주기를 변경시켜 주면서 측정했을 때 센서 노드의 에너지 소모를 연속 구동 방식에 비해 약 35% 정도 향상시켜 주었다. 또한 제안

된 알고리즘을 LEACH 라우팅 프로토콜에 적용시킨 결과를 보면 비교대상인 일반적인 LEACH 라우팅 프로토콜 방식에 비해 최종까지 약 15%의 네트워크 수명 향상을 가져온 것을 보였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 센서 노드의 에너지 효율성에서 기존의 방식보다 더 좋은 성능을 발휘하고 있다. 하지만 실제 센서 노드에 적용했을 경우를 생각해 보면, 최근에 개발되고 있는 센서 어플리케이션들의 특징인 다기능성과 고성능의 정밀도를 가지는 센서들의 소비전력이 보통 100mA 정도 되므로 현재의 배터리로는 경우에 따라서 만족할 만한 무선 센서 네트워크의 수명을 얻을 수 없다. 즉, 현재의 무선 센서 네트워크 알고리즘 등은 한계가 있다고 볼 수 있다. 따라서 더 나은 삶의 질을 위해 무선 센서 네트워크를 사용함에 있어서 무선 센서 네트워크에서 적용 가능한 에너지 효율적인 알고리즘과 센서 모듈의 연구, 지속적인 에너지를 센서 모듈에 공급할 수 있는 연구 등이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. 환경부, <http://www.me.go.kr>
2. 추장민, 정희성, 강광규, 유난미, 김미숙. (2003), *A Study on the Analysing Northeast Asian Dust and Sand Storm Damages and the Regional Cooperation Strategie*, 한국 환경정책 평가 연구원 연구 보고서, pp. 1-216.
3. KOTRA, <http://kotra.or.kr>
4. H. van de Hulst (1957), *Light scattering by small particle*, John Wiley, New York.
5. V. Backman, R. Gurjar, I. Itzkan, K. Badizadegan, R. R. Dasari, L. T. Perelman, M. S. Feld (1999), "Polarized light scattering spectroscopy for quantitative measurement of epithelial cellular structures in situ", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 5, No. 4.
6. (주)NIDS, <http://www.nano-sensor.com>
7. E. Callaway, P. Gorday, L. Hester, J. A. Gutierrez, M. Naeve (2002), "Hoem Networking with IEEE 802.15.4 : A Area Networks", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, pp. 70-77.
8. W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan (2000), "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proc of the 33rd Hawaii Int'l Conf. System Sciences*.
9. W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan (2002), "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 1, pp. 660.
10. A. Manjeshwar, D. P. Agrawal (2001), "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *Proc. of the 2nd Int'l Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*.
11. S. G. Sharama, B. D. Prasad (2006), "Airborne dust particle counting techniques", *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 114, pp. 191-198.
12. Network Simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>



홍 성 화 (shhong@dongyang.ac.kr)

1996 고려대학교 컴퓨터학과 이학사
 2002 한국항공대학교 정보통신공학과 공학석사
 2008 고려대학교 전자컴퓨터공학과 공학박사
 1997~2000 (주)동원시스템즈 연구원
 2009~현재 동양공업전문대학 전산정보학부 전임강사

관심분야 : 유비쿼터스 네트워크, 홈 네트워크, 무선네트워크, 임베디드 시스템



김 훈 기 (kimhk@dongyang.ac.kr)

1988 한양대학교 전자공학과 공학사
 1990 한양대학교 전자공학과 공학석사
 2002 한양대학교 전자공학과 공학박사
 1990~2001 (주)LG전자 정보통신연구소 선임연구원
 2001~현재 동양공업전문대학 전산정보학부 부교수

관심분야 : 임베디드 시스템, 센서 네트워크, 로봇 S/W, 통신 시스템