

에너지 사용량을 이용한 위치 기반 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜 설계 및 구현

(Design and Implementation of A Location-based Energy-Efficient Routing Protocol using Quantity of Energy Consumed)

장 유 진* 김 용 기** 장 재 우***
(You Jin Jang) (Yong Ki Kim) (Jae Woo Chang)

요 약 최근, 무선 센서 네트워크 기술은 유비쿼터스 컴퓨팅 시대의 핵심 기반 기술의 하나로 인식되고 있다. 센서 노드는 제한된 배터리 용량을 가지기 때문에, 장기간 생존하기 위해서 노드들의 동작에 적은 에너지를 소모해야한다. 따라서, 에너지를 효율적으로 사용하는 프로토콜이 필수적이다. 이를 위해 본 논문에서는 에너지 사용량을 고려하여 에너지 소모가 적은 경로를 설정하는 위치 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다. 아울러 메시지 전송이 원활하지 못한 경우를 처리하는 경로 재설정 알고리즘을 제안한다. 마지막으로 TOSSIM을 이용한 성능평가를 통해, 제안한 프로토콜이 에너지 효율성 측면에서 기존 위치기반 라우팅 프로토콜 보다 우수함을 보인다.

키워드 : 무선 센서 네트워크, 위치 기반 라우팅 프로토콜, 에너지 효율성

Abstract Recently, wireless sensor networks(WSNs) technology has been considered as one of the most critical issues in the ubiquitous computing age. The sensor nodes have limited battery power, so they should consume low energy through their operation for the long-lasting lifetime. Therefore, it is essential to use energy efficient routing protocol. For this, we propose a location-based energy-efficient routing protocol which constructs the energy efficient route by considering the quantity of Energy consumed. In addition, we propose a route reconstruction algorithm to handle the disconnection of message transmission. Finally, we show from performance analysis using TOSSIM that our protocol outperforms the existing location based routing protocols in terms of energy efficiency.

Keywords : Wireless sensor network, Location-based routing protocol, Energy efficiency

1. 서론

최근 유무선 통신 기술이 발전하고 모바일 정보기기가 보편화됨에 따라, 사물 간에 정보들이 유기적으로 결합되고 활용될 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅 기술이 각광받고 있다[1][2]. 무선 센서 네트워크 통신 기술은 유비쿼터스 컴퓨팅 시대의 핵심 기반 기술로서 중요성이 대두되고 있다. 센서 네트워크는 센싱 기능과 통신 기능을 가진 수많은 소형 센서 노드들로 이루어진다[3][4]. 이러한 센서 노드는 다양한 환경에 설치되고, 독립적으로 동작하는 대부분의 응용에서 제한된 배터리로 장기간 동작해야하기 때문에 에너지의 효율적인 사용이 필수적이다. 센서 노드의 에너지 소비는 크게 센싱, 통신, 데이터 처리의 세 부분으로 분류된다. 에너지 소비에서 가장 큰 부분을 차지

하는 것이 통신 분야이다. 따라서 에너지 효율적인 라우팅을 통한 센서 노드 수명의 최대화가 매우 중요하다.

최근, 센서 네트워크의 에너지 소비를 최소화 시키는 방법으로 위치 기반 라우팅 기법에 대한 관심이 증대되고 있으며, 위치 기반 응용 서비스 기술의 급격한 발전으로 인하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 위치 기반 라우팅의 대표적 기법인 GEDIR(GEographical Distance Routing)[5], GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)[6]과 DUA(Distance Upgrade Algorithm)[7]는 노드의 지리적 정보를 이용하여 라우팅 경로를 설정하기 때문에, 경로 설정에 필요한 비용을 감소하고, 경로 설정에 필요한 에너지 소비의 오버헤드를 최소화 할 수 있다. 하지만, 기존의 위치 기반 라우팅 기법은 지리정보만을 사용하기 때문에, 통신상에 발생하는 장애에 대한 처리가

* 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

** 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0000202)

* 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정. yjjang@dblab.chonbuk.ac.kr

** 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정. ykkim@dblab.chonbuk.ac.kr

*** 전북대학교 컴퓨터공학과 교수. jwchang@chonbuk.ac.kr(교신저자)

불가능하거나 장애 처리 복구에 대한 경로 재설정 통신 비용이 크다. 또한, 소스 노드에서 발생한 노드에 대한 전체적인 경로 길이나 에너지 사용량을 고려하지 않고, 노드 사이의 거리만을 고려하여 구성하기 때문에, 에너지 사용량이 큰 경로가 설정되어 에너지가 비효율적으로 소모되는 문제가 존재한다.

본 논문에서는 기존 위치 기반의 경로 설정의 문제점을 해결하기 위해, 소스 노드에서 중계 노드를 거쳐 싱크 노드(sink node)까지의 전체적인 경로를 고려하여 전송 거리를 단축시키고, 에너지 사용량을 고려하여 에너지 소모를 최소화 하는 경로를 설정하는 위치 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다. 아울러 노드의 에너지 소모나 메시지 낮은 수신 성공률로 인한 메시지 전송이 원활하지 못한 경우, 잔여 에너지양 또는 메시지 수신 성공률을 고려하여 라우팅 경로를 재설정하는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 기존 라우팅 프로토콜 기법에 대해 살펴보고, 3장에서는 기존 위치기반 라우팅 프로토콜의 문제점을 분석하고, 이를 해결하는 위치 정보 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜과 재설정 알고리즘을 기술한다. 4장에서는 기존 위치 기반의 라우팅 프로토콜과 성능 평가를 수행한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대하여 기술한다.

2. 관련 연구

무선 센서 네트워크 환경에서의 제한적인 배터리에 대한 제약점을 극복하고 센서노드의 수명을 연장시키는 것을 목표로 다수의 연구가 진행되고 있다[2][3]. 그 중에서, 위치 기반 라우팅 기법은 노드가 설치된 위치적 정보를 이용하여 라우팅 경로를 구성하고, 이를 통해 데이터를 전송하는 라우팅 방식이다. 위치 기반 라우팅 기법은 위치 정보를 이용하여 노드 사이의 거리를 계산하고, 이를 통해 상대적으로 전송 경로가 짧은 노드로 메시지를 전송하기 때문에, 에너지 효율성 측면에서 다른 라우팅 기법보다 우수함을 보인다. 위치 기반 라우팅 기법은 GEDIR[5], GPSR[6]과 DUA[7]가 대표적이다.

첫째, GEDIR은 노드의 위치 정보를 바탕으로 노드간 거리만을 고려하여, 노드 사이의 거리가 가장 짧은 노드로 메시지를 전송하는 기법이다. 그림 1은 GEDIR의 경로 설정 예이다. 그림 1에서 노드 x는 메시지를 보내고자 하는 소스 노드이고, 노드 D는 메시지의 최종 목적지이다. 아울러, 점선으로 된 원은 소스 노드 x가 통신 가능한 범위를 나타낸다. 소스 노드 x는 통신이 가능한 이웃 노드들 중에서 가장 거리가 짧은 노드 y를 선택하여 경로를 설정한다. 이 기법은 경로 설정이 단순하고, 각각의 센서 노드가 데이터 전송에 필요한 에너지 소모가 적은 장점이 있다. 반면, 위치 정보를 이어 경로를 구성하기 때문에, 메시지 전송이 원활하지 못한 경우 경로를 재설정하여도 원래의 경로를 선택하는 문제가 발생한다. 또한 노드 사이의 짧은 거리로만 경로를 구성하기 때문에, 최

종 목적지까지 많은 노드를 거쳐서 경로를 선택하여 메시지 전송에 사용되는 통신 비용이 많은 문제점을 지닌다.

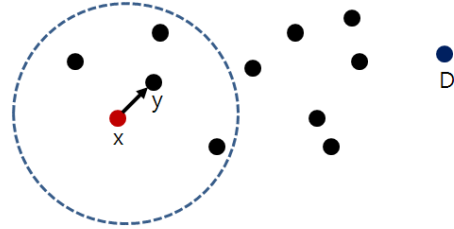


그림 1. GEDIR의 기법의 예

둘째, GPSR은 통신 가능한 범위에 존재하는 노드들 중에서 목적지 노드까지의 거리가 가장 짧은 노드를 선택하여 경로를 설정하는 기법이다. 이 기법은 소스 노드가 통신 가능한 이웃 노드들 중에서 목적지 노드에 가장 가까운 노드로 경로를 설정하기 때문에, 목적지 노드까지의 전체적인 홉 수를 줄이는 장점이 있다. 반면, 싱크 노드의 방향성을 고려하지 않고, 이웃 노드들 중에서 목적지와 거리가 가장 짧은 노드만 선택하므로 메시지 전송 경로가 긴 단점이 존재한다. 그림 2는 GPSR의 경로 설정 예이다. 노드 x는 자신이 통신 가능한 이웃 노드들 중에서 목적지인 D와의 거리가 가장 짧은 y를 선택하여 경로를 설정하고, 노드 y는 노드 z로 경로를 설정한다. 이 때, 노드 y에서 노드 z 사이에 전송이 불가능한 경우가 발생하였을 때, 이 지역을 void라 정의하고 이를 우회하기 위한 오른손(right-hand) 기법을 제시하였다. 그림 2에서 노드 y는 z와의 경로를 기준으로 오른쪽으로 회전하며 탐색하여, 다시 노드 x를 선택한다. y노드로부터 데이터를 다시 받은 노드 x는 동일한 방법으로 노드 x와 y의 경로를 기준으로 오른쪽으로 회전하며 탐색하여, 노드 n을 선택하여 경로를 설정한다. 이러한 오른손 기법은 전송이 불가능한 경우를 해결하고 있으나, 최소의 통신 홉 수를 지닌 우회 경로를 찾지 못하는 단점이 존재한다.

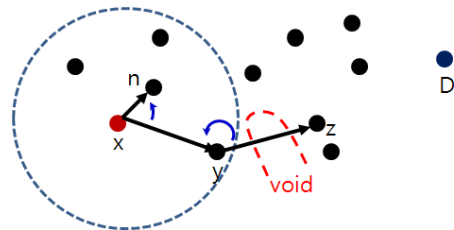


그림 2. GPSR 기법의 예

마지막으로, DUA는 통신 가능한 범위에 존재하는 노드들 중에서 목적지 노드까지의 거리가 가장 짧은 노드를 선택하여 경로를 설정하는 기법으로 GPSR과 유사하다. GPSR의 우회 경로를 찾는 문제를 개선시킨 방법이

다. DUA 기법은 void 발생으로 인한 연결이 중단된 노드일 경우, 싱크 노드에서 각 노드까지의 거리에 특정 임계값(Ω)을 더하는 distance upgrade 단계, 다른 임계값(α)만큼을 감소시키는 distance downgrade 단계, 그리고 거리를 보정하는 distance recovery 단계를 이용한다. 이를 통해, 노드가 지닌 싱크 노드까지의 거리의 변경함으로써 우회 경로를 재설정한다. 하지만 이를 위한 통신 횟수가 증가하는 단점을 지니고 있다.

3. 위치 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜

3.1 설계 시 고려 사항

라우팅 구성에 필요한 센서 노드의 위치 정보는 GPS를 이용하여 측정한다. 라우팅 경로를 설정하는 단계에서, 통신을 통하여 모든 센서노드가 자신과 이웃 노드의 위치 정보와 싱크 노드의 위치 정보를 안다고 가정한다. 한 노드가 전송이 가능한 거리는 실내 환경에서 센서가 작동할 수 있는 범위인 최대 30m를 기준으로 가정한다[8]. 따라서 멀티 홉 경로를 이용하여 네트워크 구성하기 때문에, 사용되는 에너지 소비 모델은 다중경로(multipath) 모델을 사용한다. 정의 1은 메시지 송신 시에 사용되는 에너지의 양을 나타내고, 정의 2는 메시지 수신 시에 사용되는 에너지의 양을 나타낸다. 여기에서 k 는 송수신되는 k 비트의 메시지를 나타낸다. 이 때, 메시지 송신 시에는 송신 전자기(transmit electronics)와 송신 증폭기(transmit amplifier)를 이용하고, 수신 시에는 수신 전자기(receive electronics)를 이용한다.

정의 1. 메시지 송신 시에 사용되는 에너지

$$\begin{aligned} E_{Tx}(k, d) &= E_{Tx,elec}(k) + E_{Tx,amp}(k, d) \\ &= E_{elec} * k + E_{amp} * k * d^4 \end{aligned}$$

정의 2. 메시지 수신 시에 사용되는 에너지

$$\begin{aligned} E_{Rx}(k) &= E_{Rx,elec}(k) \\ &= E_{elec} * k \end{aligned}$$

송수신에 사용되는 송신 전자기와 수신 전자기의 에너지는 50nJ/bit로 동일하고, 송신 증폭기는 0.0031pJ/bit/m²이고, 일반적으로 사용하는 메시지의 최대 크기는 29byte로 k 는 232bit이다[9]. 하나의 메시지를 전송하는데 사용하는 통신 전자기 비용은 송신 에너지와 수신 에너지의 합으로, 소스 노드가 싱크 노드로 전송 시, 다른 노드를 거쳐서 전송하는 경우 통신 전자기 비용이 2배로 적용되어 에너지 소모가 큰 것을 알 수 있다. 그러므로 싱크 노드와 소스 노드 사이 거리가 통신 가능한 범위를 벗어난 경우에 에너지 사용량을 이용한 경로 설정 알고리즘을 적용하고, 통신 가능한 범위 내의 경우에는 싱크 노드로 직접 전송하는 경로를 설정한다.

따라서 에너지 사용량을 이용한 위치 기반 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜 설계 시 고려사항은 다음과 같다. 첫째, 센서 노드의 통신 범위를 고려하여 멀티 홉으로 네

트워크를 구성하여야 한다. 둘째, 센서 노드의 제한적인 배터리 상황에서도 장기간 동작을 지원하기 위하여, 메시지 전송 시 에너지 사용량을 감소하는 경로를 선택하여야 한다. 셋째, 센서 노드의 에너지 소모나 메시지 통신이 원활하지 못한 경우, 우회 경로를 찾기 위한 재경로 설정 알고리즘을 통하여 경로를 복구하여야 한다.

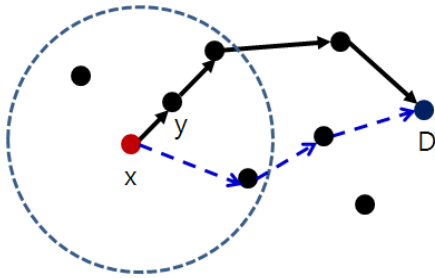
3.2 기존 위치 기반의 라우팅 경로 설정의 문제점

기존 위치 기반 라우팅 프로토콜인 GEDIR, GPSR과 DUA는 이웃 노드의 위치 정보만을 고려하여 자신과 가장 지리적으로 근접한 이웃 노드를 선택하여 라우팅을 설정한다. 따라서 기존 위치 기반 라우팅 기법은 다음과 같은 문제점을 지닌다.

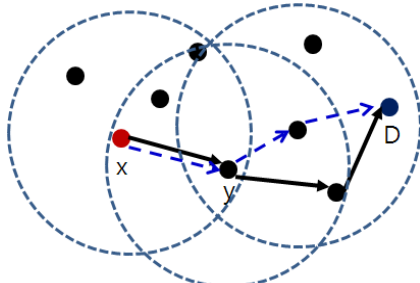
첫째, 라우팅 경로 설정 시에 싱크 노드까지의 전체 에너지 사용량을 고려하지 않고 이웃 노드와의 거리만을 고려하여 경로를 설정하기 때문에, 에너지 효율적인 경로를 선택하지 못하는 문제점이 존재한다. 이러한 문제점은 싱크 노드 위치의 방향성을 고려하지 못하기 때문에 싱크 노드까지의 전체경로가 더 짧은 경로가 존재함에도 불구하고, 이웃 노드 사이의 거리만을 고려하여 에너지를 효율적으로 사용하는 경로를 설정하지 못하는 문제점을 지닌다. 기존 위치 기반 라우팅 프로토콜은 다음과 같이 경로 설정을 수행한다. 먼저, 초기화 단계 수행 시, 각 센서 노드는 자신의 위치 정보를 메시지로 보내 다른 노드에게 알린다. 메시지를 통해 받은 위치 정보를 이용하여 네트워크에 존재하는 모든 센서 노드 및 싱크 노드와의 거리를 계산한다. 이러한 거리계산 방식을 이용하여, 짧은 거리를 반환하는 노드를 선택하여 데이터를 전송하는 경로를 설정한다.

그림 3은 기존 위치 기반 라우팅 기법의 경로를 설정하는 예를 나타낸다. 그림에서 x 는 소스 노드, D 는 목적지 노드이고 y 는 소스 노드에서 선택한 중계 노드이다. 그림에서 점선 원은 통신 범위를 의미하며, 점선으로 된 화살표는 센서 노드의 위치를 고려했을 경우 소스노드 x 에서 목적지 노드 D 까지의 에너지를 가장 적게 소모하는 경로를 나타낸다. 그림 3-a의 경우는 GEDIR 기법의 경로 설정을 나타낸다. 소스 노드 x 는 자신의 이웃 노드중 거리가 가장 짧은 y 로 경로를 선택하고, y 는 동일한 방법으로 목적지 노드 D 까지의 경로를 설정한다. 이 경우 여러 홉을 거쳐 전송하게 되어 통신 비용이 크게 증가하여 에너지 소모가 큰 문제점이 존재한다. 그림 3-b는 GPSR와 DUA의 경로 설정을 나타낸다. 소스 노드 x 가 메시지를 노드 y 로 전송하고, 노드 y 는 자신의 통신 범위 내에 존재하는 노드들 중 목적지 노드까지의 거리가 가장 짧은 노드를 선택하게 된다. 이 경우, 싱크 노드까지의 전체적인 경로를 고려하지 않아서, 전체적으로 에너지를 적게 소모하는 경로가 존재함에도 불구하고 다른 경로를 선택하여 에너지 사용량이 큰 문제점이 존재한다.

둘째로, 노드 사이에 메시지 전송을 방해하는 장애물이 존재하여 메시지 전송이 원활하지 않은 지역을 우회하는 경로를 찾을 때, 에너지를 많이 소모하는 문제가 존재한다.



(a) GEDIR의 경로 설정 예



(b) GPSR과 DUA의 경로 설정 예

그림 3. 기존 위치 기반 라우팅 기법의 경로 설정 예

다. GEDIR은 이러한 메시지 전송이 원활하지 않은 경우에 재설정 기법이 존재하기 때문에, 문제가 발생한 지역에 대한 정보를 손실하게 되는 문제가 있다. 반면에, GPSR은 오른손 기법을 이용하여 우회경로를 제공한다. 그러나, 많은 노드를 거쳐 우회하는 문제점을 지니고 있다. 또한 DUA의 경로 재설정 기법은 GPSR에 비해 우회 경로의 길이를 단축시키고 있으나, distance upgrade, distance downgrade, distance recovery 기법을 반복적으로 수행함으로써, 재경로 설정 비용이 큰 문제가 있다.

3.3 에너지 사용량을 이용한 효율적인 경로 설정 알고리즘

기존 위치 기반 라우팅 기법에서 GEDIR은 통신 가능한 이웃 노드 중에서 소스 노드와 거리가 가장 짧은 노드를 중계 노드로 사용하기 때문에, 싱크 노드까지의 홉 수가 증가하여 통신 전자기 비용을 많이 소모하여 에너지 비효율적이다. 또한, GPSR과 DUA는 통신 가능한 이웃 노드 중에서 소스 노드와 거리 가장 긴 노드를 중계 노드로 사용하기 때문에, 싱크 노드까지의 홉 수는 감소시키지만 메시지 전송 경로가 짧은 경로를 찾지 못하는 문제점을 지닌다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 소스 노드에서 중계 노드를 거쳐 싱크 노드까지의 전체적인 거리와 싱크 노드의 방향성을 고려하여 전송 경로를 줄이고, 통신 가능한 범위를 고려하여 통신 전자기 비용을 감소시키는 에너지 사용량을 이용한 효율

적인 경로 설정 알고리즘을 제안한다. 제안하는 경로 설정 알고리즘은 싱크 노드와 소스 노드의 위치 정보를 기반으로 하여 싱크 노드와 소스 노드의 거리가 통신 가능한 범위를 넘어 전송이 불가능한 경우, 에너지를 적게 소모하는 중계 노드를 찾는다. 모든 노드는 자신과 이웃 노드, 싱크 노드의 위치 정보를 알고 있기 때문에, 데이터를 전송하려는 소스 노드와 데이터의 최종 목적지인 싱크 노드의 위치를 이용하여 중계 후보 노드 탐색이 가능하다. 탐색된 중계 후보 노드들을 통한 경로의 에너지 사용량을 비교하여 에너지 소모가 적은 경로를 설정한다. 하나의 메시지를 통신하는데 사용되는 총 에너지 사용량은 정의 3과 같다. 메시지 통신 시 사용되는 에너지 사용량(E_{cons})은 정의 1과 정의 2에 명시된 수신 에너지와 송신 에너지의 합으로 계산된다. 이는 통신 거리와 홉 카운트에 따른 통신 전자기 비용에 비례한다.

정의 3. 메시지 통신 시 사용되는 에너지 사용량

$$E_{cons} = 2 * E_{elec} * k + E_{amp} * k * d^4$$

그림 4는 정의 3을 이용하여 소스 노드 x가 목적지 노드 D로 메시지를 전송하기 위한 경로를 설정하는 예이다. 소스 노드 x는 통신 범위 안에 존재하는 이웃 노드들을 탐색하여, 노드 a, b, c, y를 중계 후보 노드로 선정한다. 선정된 중계 후보 노드들에 대해, 정의 3을 이용하여 에너지 소모비용을 측정하고 에너지 소모비용이 최소인 노드 y를 중계 노드로 선택한다. 이 때, 노드 y를 선택하는 에너지 소모비용은 소스 노드 x에서 노드 y까지의 에너지 사용량과 노드 y에서 목적지 노드 D까지의 에너지 사용량 합 계산되며, 다음과 같다.

$$E(x, y, D)_{cons} = 2 * E_{elec} * k + E_{amp} * k * d_{xy}^4 + 2 * E_{elec} * k + E_{amp} * k * d_{yD}^4 = 4 * E_{elec} * k + E_{amp} * k * d_{xy}^4 + E_{amp} * k * d_{yD}^4$$

선택된 노드 y는 위와 동일한 방법으로 에너지 사용량을 비교하여 에너지 소모비용이 최소인 노드 z를 통해 목적지 노드인 D로 연결되는 경로를 설정한다.

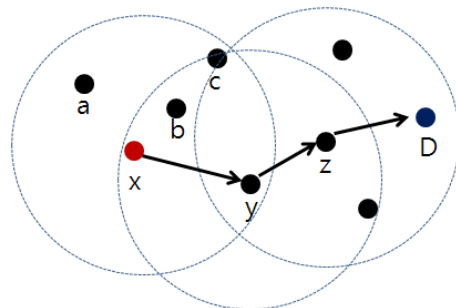


그림 4. 에너지 사용량을 이용한 경로 설정 예

그림 5는 에너지 사용량을 이용한 경로 설정 알고리즘

이다. 첫째, Find_neighbornode 함수를 통해 소스 노드와 통신 범위 안에 존재하는 노드들을 이웃 노드(set_neighbors)로 설정한다(라인1~2). 이 때, 이웃 노드의 수는 count이며, 이를 후보 셋으로 정한다. 둘째, 각 이웃 노드에 대하여, 소스노드까지의 거리(dist1)와 싱크노드까지의 거리(dist2)를 이용하여 비용을 구한다(라인3~7). 셋째, 각 이웃 노드의 비용을 비교하여 가장 적은 비용을 지닌 이웃 노드를 해당 노드의 중계 노드로 선정한다(라인 8~11). 이를 모든 노드에 대해 반복적으로 수행하여 라우팅을 구성한다.

```

Construct Routing Algorithm()
for (i=0; i<numofnode; i++)
    set_neighbors[count]=
Find_neighbornode(node[i], range);
for (j=0; j<count; j++){
    dmax=∞;
    dist1=Compute_distance(node[i],
set_neighbors[j]);
    dist2=Compute_distance(set_neighbors[j],
sinknode);
    cost=Comute_cost(dist1,dist2);
    if (dmax>cost) {
        dmax=cost;
        selectnode[node[i]]=set_neighbors[j];
    }
}
}

```

그림 5. 에너지 사용량을 이용한 경로 설정 알고리즘

3.4 메시지 전송이 원활하지 못한 경우를 위한 라우팅 재설정 기법

앞서 제안한 기법을 이용하여 라우팅 경로를 설정하면, 벽, 나무 같은 방해물이나 노드의 에너지 소모로 인한 메시지 전송이 원활하지 못한 경우에 대처가 불가능하거나 설정을 위한 메시지 오버헤드와 재설정된 경로를 이용한 메시지 전송 시 에너지 사용량이 큰 문제점이 존재한다. 그 이유는, 기존 기법은 우회 경로의 길이가 길거나, 우회 경로를 설정하기 위한 통신비용이 크기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 문제가 발생한 노드에서 경로를 재설정할 때, 기존 위치 정보를 이용하여 에너지가 효율적인 우회 경로를 찾는 알고리즘이 필요하다. 그러므로 메시지 수신 성공률이 낮은 경우 라우팅 경로를 재설정하는 기법과 잔여 에너지가 존재 하지 않거나 연결이 끊어져 전송이 불가능한 경우에 에너지를 고려한 재설정 알고리즘을 제안한다.

첫째, 메시지의 수신 성공률을 측정하여, 수신 성공률이 낮은 노드일 경우, 후보 노드들 중 수신율 불량인 노드를 제외한 나머지 노드 중에 에너지 사용량을 최소로

하는 노드로 연결하여 라우팅 경로를 재설정한다. 정의 4는 평균 메시지 수신 성공률을 나타낸다. 실제 전송받은 패킷의 수를 전체 패킷의 수로 나눈 값이 평균 메시지 수신 성공률이다. t는 해당 노드 간의 통신을 수행한 총 시간이며, 전체 패킷은 예상되는 패킷(packets expected) 수와 실제 전송된 패킷(packets received) 수 중의 최대 값으로 설정된다.

정의 4. 평균 메시지 수신 성공률

$$AverSuccRate = \frac{Packets\ Received(t)}{\max(Packets\ Expected(t),\ Packets\ Received(t))}$$

이를 이용하여 메시지 전송이 원활하지 못한 경우에도 경로를 재설정하는 알고리즘을 설계한다. 메시지가 원활하지 않는 경우는 메시지 수신율이 일정한 α 이하일 경우이다. 여기에서 α 는 사용자가 정해주는 임의의 메시지 수신 허용량이다. 그러므로 메시지 수신율이 α 이상일 경우는 앞에서 제안한 위치 기반 경로 선택 알고리즘을 사용하고, α 이하일 경우에는 메시지 수신 성공률 기반 경로 재설정 알고리즘을 사용한다. 각 노드는 자신의 메시지 수신 성공률을 체크하여 저장한다. 저장한 메시지 수신 성공률이 α 이하일 경우, 수신 성공률 기반 경로 재설정 알고리즘을 이용하여, 이전에 설정되어 문제가 발생한 경로를 제외한 통신 가능하고, 수신 성공률이 α 이상인 노드를 탐색하여 경로를 변경한다.

둘째, 노드의 잔여 에너지를 측정하여, 에너지가 남아있는 노드들 중 소스 노드에서 중계 노드를 거쳐 싱크 노드로 연결되는 거리가 가장 짧은 노드로 연결하여 라우팅 경로를 재설정한다. 정의 5는 잔여 에너지를 나타낸다. 전체 에너지에서 송수신에 소모한 에너지를 제외한 에너지를 계산한다.

정의 5. 잔여 에너지량

$$E_{Remaining} = E_{Total} - E_{Tx}(k,d) - E_{Rx}(k)$$

이를 이용하여 노드의 에너지 소모로 인한 메시지 전송이 원활하지 못한 경우에, 경로를 재설정하는 알고리즘을 설계한다. 메시지가 원활하지 않는 경우는 잔여 에너지량이 β 이하인 경우이다. 이 경우, 모든 센서 노드는 에너지 잔여량을 계산하여, 잔여량이 존재하지 않을 경우 소스 노드로부터 메시지를 전송받아 자신에게 데이터를 보낸 자식 노드에게 잔여량이 존재하지 않음을 알린다. 메시지를 전송받은 자식 노드는 에너지가 존재하는 노드로 전송 경로를 재설정한다.

이 두 가지 재설정 방법은 모두 메시지 전송이 원활하지 못한 경우로, 모든 노드는 자신의 에너지나, 메시지 전송률을 측정하여 사용자가 지정하는 일정한 임계값 α 나 β 이하의 경우 일 때 문제가 발생한 노드로 인식한다. 노드는 문제가 발생한 이전의 경로를 절단하고 원활한 통신이 가능한 노드로 경로를 재설정한다.

그림 6은 메시지 전송이 원활하지 못한 경우의 경로

```

Reconstruct Routing Algorithm()
1. if (value < a){
2.   for (i=0; i<numofnode; i++)
3.     set_neighbors[count]=
       Find_neighbornode(node[i], range);
4.   for (j=0; j<count; j++){
5.     value=Check_value(set_neighbors[count])
6.     if (value > a ){
7.       dmax=∞;
8.       dist1=Compute_distance(node[i],
set_neighbors[j]);
9.       dist2=Compute_distance(
set_neighbors[j],sinknode);
10.      cost=Comute_cost(dist1,dist2);
11.      if (dmax>cost) {
12.        dmax=cost;
13.        selectnode[node[i]]=set_neighbors[j];
14.      }
15.    }
16.  }
17. }

```

그림 6. 에너지 사용량을 이용한 경로 설정 알고리즘

재설정 알고리즘이다. 첫째, 노드의 에너지 잔여량이나 메시지 전송 성공률이 임계값(a) 이상일 때, Find_neighbornode 함수를 통해 소스 노드와의 통신 범위 안에 존재하는 노드들을 이웃 노드(set_neighbors)로 설정한다(라인1~3). 이 때, 이웃 노드의 수는 count이며, 이를 후보 셋으로 정한다. 둘째, 각 이웃 노드의 에너지 잔여량이나 메시지 전송 성공률을 체크하여 a 이상인지 체크한다(라인5~6). 이때 a 이상인 이웃 노드들에 대하여 경로 설정을 수행한다. 셋째, 각 이웃 노드에 대하여, 소스 노드까지의 거리(dist1)와 싱크 노드까지의 거리(dist2)를 이용하여 비용을 구한다(라인7~9). 넷째, 각 이웃 노드의 비용을 비교하여 가장 적은 비용을 지닌 이웃 노드를 해당 노드의 중계 노드로 선정한다(라인 11~13). 이를 모든 노드에 대해 반복적으로 수행하여 라우팅을 구성한다.

그림 7은 라우팅 경로 재설정 예이다. 에너지 사용량을 이용한 경로 설정 알고리즘을 통해 생성된 경로가 소스 노드 x에서 중계 노드 y, z를 통해 목적지 노드 D로 연결되는 경로일 때, 노드 y와 노드 z 사이에 벽이 존재하여 메시지 수신 성공률이 a 이하인 경우로 측정된다고 가정한다. 이 경우 노드 y는 노드 z를 제외한 이웃 노드를 탐색하고, 이웃 노드 중에서 이전 경로인 노드 z와 수신 성공률이 a 이하인 노드들을 이웃 노드에서 제외한다. 그 후, 이웃 노드를 중계 후보 노드로 설정한다. 그러므로 노드 y는 메시지 수신율이 a 보다 높고, 에너지 사용량이 적은 노드 n을 통해 목적지 노드 D로 연결하는 경로를 재설정한다.

제안하는 라우팅 프로토콜은 노드의 위치 정보를 기반

으로 에너지 사용량이 최소인 경로를 설정한다. 또한, 메시지 전송이 원활하지 못한 경우, 경로를 재설정한다. 이는 메시지 전송 시 에너지 소모를 감소시키고, 네트워크 신뢰도를 향상시킨다.

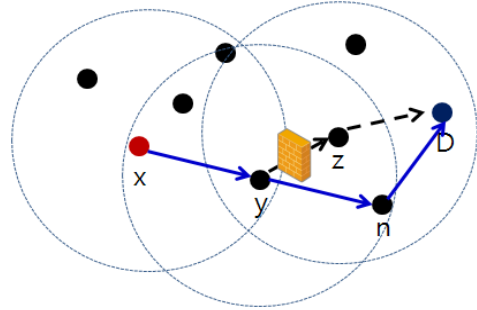


그림 7. 라우팅 경로 재설정 예

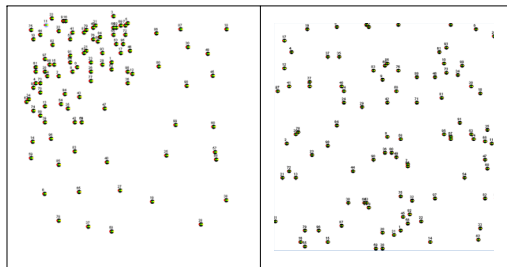
4. 성능평가

본 논문에서 제안하는 에너지 사용량을 이용한 위치 기반의 에너지 효율적인 경로 라우팅 프로토콜(이하 성능평가 상에서 LQEC(Location-based energy-efficient routing protocol using Quantity of Energy Consumed)로 표기)은 에너지 효율성을 증명하기 위해 기존의 위치 기반 라우팅 프로토콜 중 효율적인 GPSR과 메시지 전송 불가능한 경우 경로 설정이 뛰어난 DUA와의 성능평가를 수행한다. 관련 연구에서 제시한 GEDIR 기법은 위치 기반 기법의 초기 연구로 라우팅 경로가 제대로 구성되지 않고 연결이 단절되는 부분이 많이 존재하며, GPSR에 비해 많은 에너지 비효율성을 나타내어 성능평가에서 제외한다[6]. 구현환경은 TinyOS ver. 1.1.15[10]에서 nesC로 구현하였으며, TOSSIM[11] 시뮬레이터를 이용하여 성능을 평가하였다. 성능평가에 사용된 어플리케이션은 TinyOS에서 기본으로 제공하는 Surge 어플리케이션이고, 노드 수는 100개이다. 실험에서 사용한 에너지 소비 모델은 정의 1, 정의 2에 따른 다중경로 모델을 사용하며, 송수신에 사용되는 송신 전자기와 수신 전자기의 에너지는 50nJ/bit 로 동일하고, 송신 증폭기는 0.0013pJ/bit/m^2 이고, 일반적으로 사용하는 메시지의 최대 크기는 29byte 로 k 는 232bit 이다. TOSSIM 시뮬레이터를 사용하기 때문에 네트워크의 최대 사이즈는 $100 * 100\text{m}$ 이고, 싱크 노드의 위치는 네트워크의 중심에 있는 경우와, 네트워크의 바깥에 있는 경우로 배치하였다. 다양한 상황을 검증하기 위해 노드를 skewed, random, uniform의 3가지 형태로 유형을 설정하였다. 다음과 같이 임의의 센서 노드 배치(random), 비대칭적으로 밀집된 센서 노드 배치(skewed), 일정한 간격의 격자 배치(uniform) 유형을 사용하였다. 표 1은 성능 평가에 사용된 노드 배치의 유형과 특징을 나타내고, 그림 8은 표 1에 정의된 유형들을 TOSSIM이 제공하는 사용자 인터페

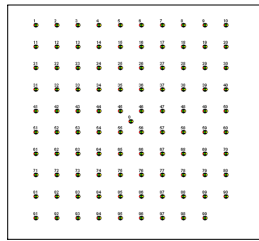
이스(TinyViz)를 통해 출력한 예이다. 평가 항목은 노드 배치 유형 별 경로 길이를 비교하였고, 질의 비율 변화, 경로 재설정의 에너지 효율성을 측정하였다.

표 1. 노드 배치의 유형

유형	특징
skewed	노드의 70% 이상이 특정 지역으로 밀집된 배치
random	노드를 전체적으로 임의로 배치
uniform	노드를 일정한 격자 형태로 배치



(a) skewed (b) random



(c) uniform

그림 8. 노드 배치의 형태

그림 9는 센서 노드의 평균 메시지 전송 경로 길이를 나타낸다. 각 센서 노드에서 발생한 메시지가 싱크 노드에 도착할 때까지의 경로 길이의 평균을 노드 배치 형태에 따라 측정하였다. 그래프에서 보면 GPSR의 경우 51.9m, DUA의 경우 51.7m 인 반면 제한한 라우팅 기법인 LQEC는 49.7m로 기존 위치 기반 기법에 비해 평균 2m의 경로 길이가 감소하였다. 그 이유는 기존 위치 기

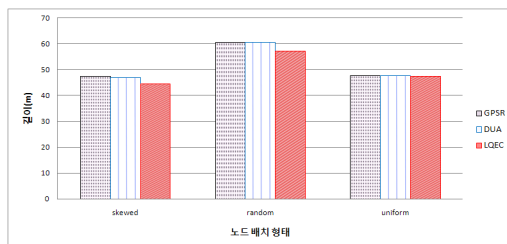


그림 9. 센서 노드의 평균 경로 길이

반 기법인 GPSR과 DUA의 경우는 중계 노드와 싱크 노드 사이의 거리만을 고려하여 경로를 구성하여, 소스 노드에서 중계 노드를 거쳐 싱크 노드로 연결되는 전체적인 경로를 고려하지 않았기 때문이다.

그림 10, 그림 11과 그림 12는 노드 배치 유형 별 질의 비율 변화 따른 에너지 효율성을 나타낸다. 질의 비율에 따른 에너지 소모량은 질의 비율에 관계없이 제한한 기법인 LQEC가 기존 위치 기반 라우팅 기법에 비해 에너지 효율성 측면에서 우수함을 보인다.

그림 10은 네트워크에 설치되어 있는 센서 노드 중 1%의 노드에서 질의가 발생한 경우에 대한 에너지 소모량이다. 에너지가 발생한 노드는 임의로 선정되어 발생한 노드에서 싱크 노드까지의 데이터를 전송하는데 소모한 에너지양을 측정하였다. GPSR의 경우 2.14mJ, DUA의 경우 2.11mJ인 반면에, LQEC는 1.44mJ의 에너지를 소모하여 약 32%의 에너지 소모를 감소하였다. 이는 LQEC의 경우 다른 위치 기반 방법에 비해 전송 경로가 짧아 상대적으로 에너지 소모가 적기 때문이다.

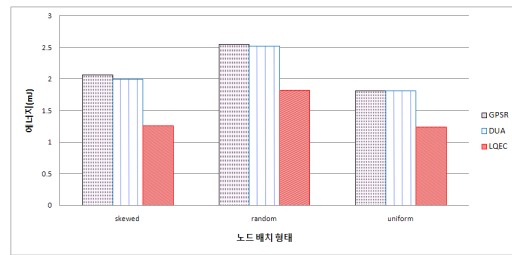


그림 10. 질의 1%일 때 노드 배치 형태 별 에너지 소모량

그림 11은 네트워크에 설치되어 있는 센서 노드 중 10%의 노드에서 질의가 발생한 경우에 대한 에너지 소모량이다. GPSR의 경우 20.6mJ, DUA의 경우 20.6mJ인 반면에 LQEC는 13.8mJ의 에너지를 소모하여 약 33%의 에너지 소모를 감소하였다. GPSR과 DUA는 통신 범위 내에 있는 노드 중에서 싱크 노드와 거리가 가장 짧은 노드를 중계 노드로 선택하여 전송하는 동일한 방법을 사용하므로, 두 라우팅 프로토콜의 에너지 소모량은 유사하다.

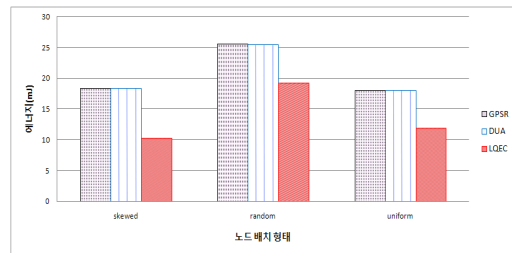


그림 11. 질의 10%일 때 노드 배치 형태 별 에너지 소모량

그림 12는 네트워크에 설치되어 있는 센서 노드 중 100%의 노드에서 질의가 발생한 경우에 대한 에너지 소모량이다. 기존 위치 기반 라우팅 기법인 GPSR은 212.5mJ의 에너지 소모와 DUA는 208.9mJ의 에너지 소모를 나타내어 두 라우팅 기법 모두 200이 넘는 에너지를 사용한 반면에, LQEC은 142.7mJ의 에너지를 소모한다. 그러므로, LQEC은 GPSR에 비해 32%, DUA에 비해 31%의 에너지 효율성 향상을 보인다.

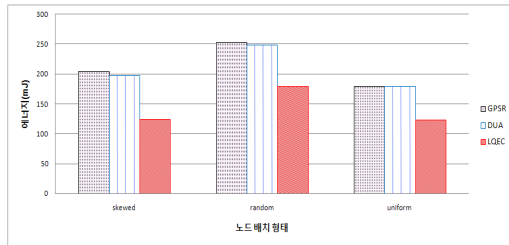


그림 12. 질의 100%일 때 노드 배치 형태 별 에너지 소모량

그림 13은 메시지 전송이 원활하지 않은 경우의 라우팅 경로 재설정에 따른 증가된 에너지 소모량이다. void는 메시지 전송이 원활하지 않은 영역의 수이다. void 수는 1개에서 3개까지 증가시켜 실험하였다[7]. 에너지 소모량은 이전의 경로와 새로 변경된 경로를 비교하여 메시지 전송 시에 사용되는 증가된 에너지를 측정하였다. void가 한 개 인 경우, 증가된 에너지 소모량이 GPSR은 1.9mJ, DUA는 1.3mJ인 것에 비해, LQEC는 1.1mJ로 GPSR보다 40%, DUA보다 15%의 에너지 효율성이 향상되었다. 제안한 기법이 void 수에 관계없이, GPSR DUA에 비해 에너지 효율적임을 보인다.

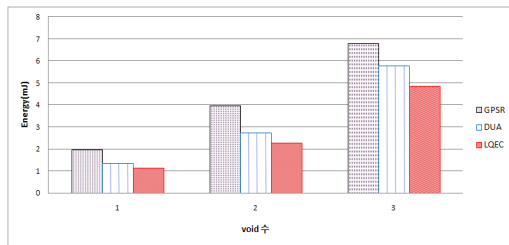


그림 13. 경로 재설정에 따른 증가된 에너지 소모량

5. 결론 및 향후 연구

최근 유무선 통신 기술의 발전 및 모바일 정보기기가 보편화 됨에 따라 유비쿼터스 컴퓨팅 기술의 발전으로 무선 센서 네트워크의 이용이 확산되었다. 무선 센서 네트워크는 배터리가 한정된 센서 노드를 이용하기 때문에, 에너지의 효율적인 사용이 필수적이다. 따라서 에너지의 효율적인 사용을 위한 위치 기반의 에너지 효율적인 라

우팅 기법이 필요하다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 구성하는 노드들의 위치 정보를 이용하여 에너지 사용량을 이용한 에너지 효율적인 경로를 선택하는 라우팅 기법을 제시하였다. 위치 기반 라우팅 기법의 이웃 노드 사이의 거리나 싱크 노드와의 거리만으로 라우팅 경로를 생성하여, 최종 목적지인 싱크 노드까지 메시지 전송을 위한 에너지 소모가 적은 경로를 선택하지 못하는 문제점을 해결하기 위해, 메시지 통신 시에 사용하는 에너지 사용량을 계산하여 에너지 소모가 최소인 노드로 메시지를 전송하는 에너지 사용량을 이용한 에너지 효율적인 경로 선택 알고리즘을 제안하였다. 또한, 노드의 에너지 소비로 인해 메시지 전송이 원활하지 못할 경우를 위한 잔여 에너지양을 고려한 라우팅 경로 재설정 기법과 메시지 수신 성공률이 낮은 경우를 위한 경로 재설정 기법을 제안하였다. 또한, 기존의 GPSR, DUA와의 성능 비교를 통하여, 제안한 기법의 우수한 에너지 효율성을 증명하였다.

향후 연구로는 본 논문에서 제안한 LQEC을 확장하여, 라우팅 경로 설정의 기본이 되는 노드의 위치 측정을 위한 GPS-free positioning 기법을 연구하여 적용하는 것이다.

참 고 문 헌

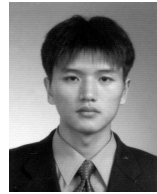
- [1] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," Ad Hoc Networks, Vol.3 No.5, 2005, pp.352-349.
- [2] 김봉수, 황소영, 정훈, 주성준, "유비쿼터스 센서 네트워크 라우팅 기술," 인터넷 정보학회지, 제9권 제1호, 2008, pp. 13-21.
- [3] 강홍구, 김정준, 한기준, "데이터 중심 센서 네트워크에서 에너지 효율성을 고려한 비균등 네트워크 분할 기법," 한국공간정보시스템학회 논문지, 제8권 제3호, 2006, pp. 35-50.
- [4] 이양구, 류근호, "센서 데이터의 시간 정보를 이용한 이력 정보 관리," 한국공간정보시스템학회 논문지, 제 10권 제4호, 2008, pp. 97-101.
- [5] I. Stojmenovic and X. Lin, "GEDIR: Loop-Free Location Based Routing in Wireless Networks," Proc. IASTED Int'l Conf. Parallel and Distributed Computing and Systems, 1999, pp. 1025-1028.
- [6] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," Proc. of the Sixth Annual Int'l. Conf. on Mobile Computing and Networking, 2000, pp. 243-254.
- [7] S. Chen, G. Fan, and J. Cui, "Avoid 'Void' in Geographic Routing for Data Aggregation in Sensor Networks," International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing (IJAHUC), Special Issue on Wireless Sensor Networks, Vol.2

- No.1, 2006, pp. 169-178.
- [8] 변무광, 박성준, “수중 센서네트워크를 위한 초음파 통신 모델 설계 및 구현,” 한국통신학회논문지, 제34권 제6호, 2009, pp. 437-444.
- [9] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, “An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks,” Wireless Communications, IEEE Transactions on, Vol.1 No.4, 2002, pp. 1536-1276.
- [10] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, and K. Pister, “System architecture directions for networked sensors,” ACM, Vol.35 No.11, 2000, pp.93-104.
- [11] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler, “TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications”, Proc. of the 1st Conf. on Embedded Networkd Sensor Systems, 2003, pp. 126-137.



장 유 진

2008년 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업
(학사)
2008년 현재 전북대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사)
관심분야는 센서네트워크, 공간 데이터베이스



김 용 기

2002년 전북대학교 컴퓨터공학과 졸업
(학사)
2005년 전북대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(석사)
2006년~현재 전북대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사)

관심분야는 공간 네트워크 데이터베이스, 질의처리 알고리즘, 센서 네트워크



장 재 우

1984년 서울대학교 전자계산기공학과 졸업
(학사)
1986년 한국과학기술원 전산학과 졸업
(석사)
1991년 한국과학기술원 전산학과 졸업(박사)

1996년~1997년 Univ. of Minnesota, Visiting Scholar
2003년~2004년 Penn State Univ., Visiting Professor
1991년~현재 전북대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야는 공간 네트워크 데이터베이스, 센서네트워크, 하부 저장구조