

무선 센서 네트워크에서 균형적인 에너지 자원 소비를 위한 라우팅 방법¹

이상계, 김병희, 조대호

Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

300 Cheoncheon-dong, Jangan-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 440-746, Korea

Tel: +82-31-290-7221, Fax: +82-31-290-7230, E-mail: upperbound@nate.com, {bhkim,taecho}@ece.skku.ac.kr

성균관대학교 정보통신공학부

경기도 수원시 장안구 천천동 300, 440-746

Tel: +82-31-290-7221, Fax: +82-31-290-7230, E-mail: upperbound@nate.com, {bhkim,taecho}@ece.skku.ac.kr

Abstract

초록 최근 무선 센서 네트워크는 군사 및 민간 운용에서 광범위한 응용이 가능하여 많은 주목을 받고 있다. 무선 센서 네트워크는 수많은 센서 노드들과 몇몇의 베이스 스테이션들로 구성되며, 각 노드는 노드들이 라우팅 역할을 하는 다중 홉 네트워크를 통하여 감지 데이터를 베이스 스테이션에게 전달한다. 이러한 노드들은 에너지 자원의 충전이나 교환이 불가능하므로, 센서 노드들의 에너지 소모를 최대한 줄여서 전체 네트워크의 생존 시간을 최대화시켜야 한다. 본 논문에서는 센서 네트워크 구성 노드들의 잔여 가동 시간을 최대화하는 방법으로 네트워크 자원을 균형 있게 이용하는 라우팅 기법을 제안한다. 제안된 방법은 각 노드의 데이터 송수신시 거리 당 소모되는 에너지와 잔여 에너지를 고려하며, 보안 수준을 추가적으로 고려함으로써, 전체 네트워크를 균형적으로 이용하면서도 안전한 경로를 선택하는 라우팅 방법이다.

Keywords:

무선 센서 네트워크; 라우팅 프로토콜; 균형 에너지 소비; 보안

서론

유비쿼터스 센서 네트워크(ubiquitous sensor network; 이하 USN)는 그림 1과 같이 여러 개의 센서 네트워크 필드가 게이트웨이(gateway)를 통해 외부 네트워크에 연결되는 구조를 갖는다. 센서 노드들은 가까운 싱크(sink) 노드로 데이터를 전송하고 센서 노드로 집적된 데이터는 게이트웨이로 전달된다[1].

게이트웨이에서 관리자에게 전달되는 데이터는 위성통신, 유무선 인터넷 등을 통해 전송될 수 있으며, 이런 액세스 네트워크(access network)는 기존의 인프라를 이용한다.

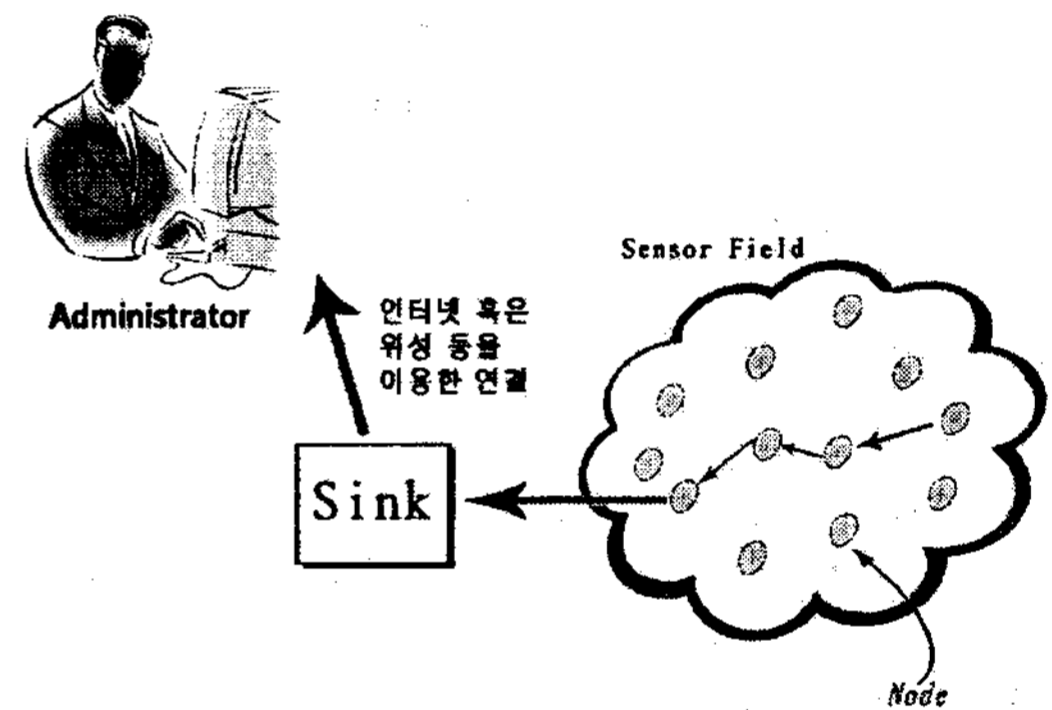


그림 1-무선 센서 네트워크의 구조

센서 네트워크는 네트워크를 구성하는 일정 지역에 크기가 1mm^3 정도의 작은 노드들이 수백 개에서 수천 개까지 설치하여 통신하는 구조를 갖는다. 또한, 노드들이 주고받는 데이터는 그 크기도 작고 데이터의 발생 빈도 또한 매우 낮아 통신하는 양은 많지 않을 것으로 가정한다.

센서 노드의 크기가 작은 만큼 그에 따른 제약 조건이 존재하는데 그 중 가장 큰 문제는 배터리의 크기다. 현재 기술력으로 센서 노드에 적용할 수 있는 크기의 배터리로는 가용 에너지가 너무 적다. 따라서 센서 네트워크의 연구는 일차적으로 에너지 효율성을 고려해서 진행되고 있다. 네트워크 분야에서 두 노드 간의 통신이 가장 많은 에너지를 소모한다고 판단하여 가능하면 적은 양의 데이터와 시그널을 주고받는 것이 중요한 이슈가 되고 있다.

¹ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (HTA-2007-C1090-0701-0028)

또한 크기가 작은 노드 탓에 메모리의 크기에도 한계가 있기 때문에 네트워크나 라우팅 정보들을 필수적인 것들만 저장하여 이용하도록 간단한 프로토콜이 요구된다. 그리고 또 다른 문제로 통신 거리와 방법에 대한 한계가 있다. 센서 노드들은 서로 가까이 존재하여 통신 할 수 있다고 가정하더라도, 원격지에 있는 사용자와 관리자는 센서 노드가 직접 통신할 수 없는 거리에 존재하게 된다. 센서 네트워크는 항상 네트워크 필드 안에 다른 네트워크와 통신할 수 있는 형태의 노드가 필요하다. 이런 노드를 싱크라고 부르며, 이 싱크 노드는 크기가 크고 배터리의 한계를 가정하지 않는다. 센서 네트워크 내에서 발생된 데이터는 모두 싱크 노드로 집적되어 센서 네트워크와 다른 방식으로 외부 네트워크에 연결된다. 이 방식은 싱크 노드의 특성에 따라 위성 통신, 무선랜(wireless local area network), 블루투스(Bluetooth), 유선 인터넷 등의 방식을 가질 수 있다[2].

본 논문에서는 센서 네트워크 구성 노드들의 잔여 가동 시간을 최대화하는 방법으로 네트워크 자원을 균형 있게 이용하는 라우팅 기법을 제안한다. 제안된 방법은 각 노드의 데이터 송수신시 거리 당 소모되는 에너지와 잔여 에너지를 고려하며, 보안 수준을 추가적으로 고려함으로써, 전체 네트워크를 균형적으로 이용하면서도 안전한 경로를 선택하는 라우팅 방법이다. 논문의 구성은 다음과 같다. ‘문제 분석’에서는 센서 노드들의 구성과 전송 기술을 살펴보고 ‘균형 에너지 소비 라우팅 방법’에서는 AODV 프로토콜을 이용하여 데이터 전달 신뢰성을 향상시키는 방법을 설명한다. 그 후, “결론”을 통하여 본 논문의 내용을 정리한다.

문제 분석

센서노드의 구성

센서노드의 구성은 주로 제어부(MCU), 무선통신부, 센서부 및 전원부로 구성되며, 현재 선보여지고 있는 응용 서비스에서의 센서노드는 다수의 노드를 광범위한 환경에서 분산 배치하여 이용되므로 노드의 전원을 자주 교환하는 것이 어렵기에 저전력 센서노드 개발이 요구된다. 또한 응용 서비스에 따라 노드의 설치 용이성이 고려되므로 센서노드의 소형화와 경량화가 필수적이다[3].

특히 본 논문에서 자세히 다룰 내용인 전원부를 보면 센서노드에 장기적으로 안정적인 전력을 공급하여 소자의 원활한 구동을 가능하게 해주는 핵심부품 기술로써, 새로운 휴대통신 단말기의 수요 증가에 따라 1차 전지뿐만 아니라 자가 충전 기능이 추가되는 형태의 태양전지나 무선 급전의 방식 등의 다양한 기술들이 소개되고 있다.

라우팅 방법 개요

본 장에서는 센서 네트워크의 기반 기술이 되는 애드 혹 네트워크(ad-hoc network)에서 제안된 대표적인 경로 설정 알고리즘을 살펴본다.

애드 혹 네트워크에서의 경로설정 알고리즘은 크게 테이블 드리븐(table driven) 방식과 온 디맨드(on-demand) 방식으로 구분할 수 있다. 테이블 드리븐 방식은 각 노드에서 경로 설정을 위한 정보를 지속적으로 유지하여 경로 설정 및 변경에 대처한다. 온 디맨드 방식은 경로 설정이 필요할 경우 인접 노드들에게 메시지를 전송함으로써 설정에 필요한 정보를 얻는 방법을 채택하여 정보유지에 따르는 부담을 경감시킨다. DSDV (Destination-Sequence Distance-Vector) 경로설정 프로토콜은 테이블 방식을 사용한 대표적인 알고리즘이며, Bellman-Ford 알고리즘을 기반으로 만든 경로설정 프로토콜로서 망 내의 모든 이동 노드들은 그들이 연결할 수 있는 다른 모든 노드들에 대해 경로 설정 정보를 가지며 이동 노드들의 경로설정 루프를 방지하기 위해 목적지 노드가 표시된 순차 번호를 사용한다.

CGSR (Cluster head Gateway Switch Routing) 프로토콜은 DSDV를 기본 골격으로 하여 송신 노드와 목적지 노드 사이가 아닌, 계층적인 클러스터 헤드와 게이트웨이 간의 경로설정을 사용한다. 노드에서 발생된 패킷은 먼저 클러스터 헤드에게 전송되고 클러스터 헤드에서 다시 게이트웨이를 통해 목적지로 전송이 된다[4].

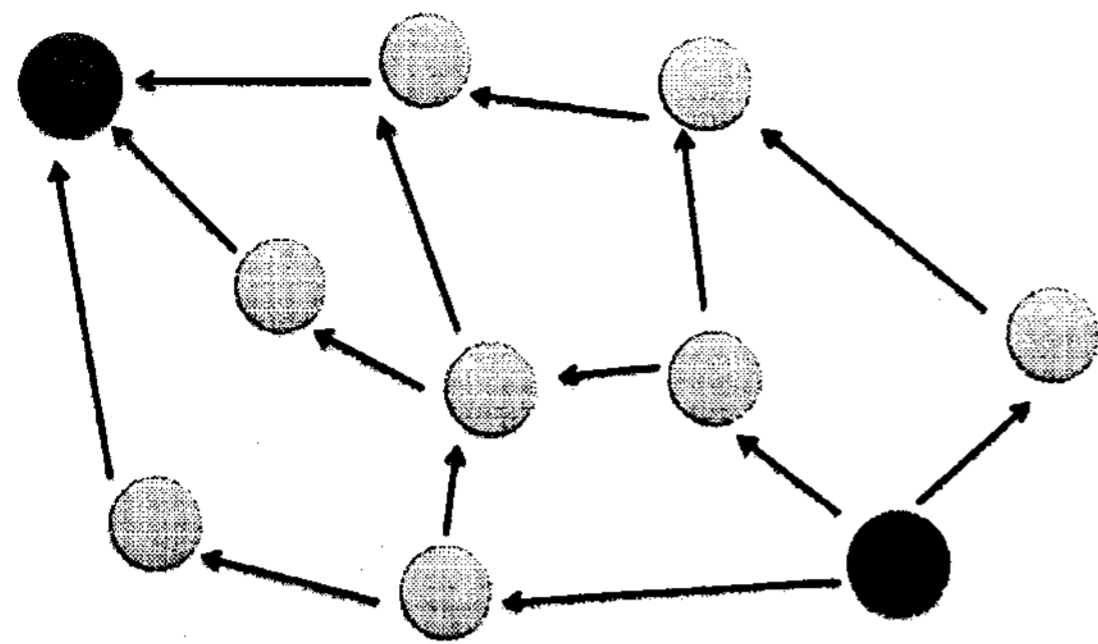
문제점 도출

라우팅 프로토콜들 중에서 AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜은 널리 알려져 사용되고 있는 프로토콜이다. 그러나, AODV 라우팅 프로토콜은 경로 탐색 과정에서 먼저 수신된 경로 요구(router request, RREQ) 메시지가 전달되어 온 경로만을 고려할 뿐, 에너지 사용량, 링크상태 트래픽 부하 등의 다른 요소들을 반영하지 못하고 있다. 결국 효율적인 에너지를 소모하는 경로를 설정하는데 부족함이 있는 것이다.

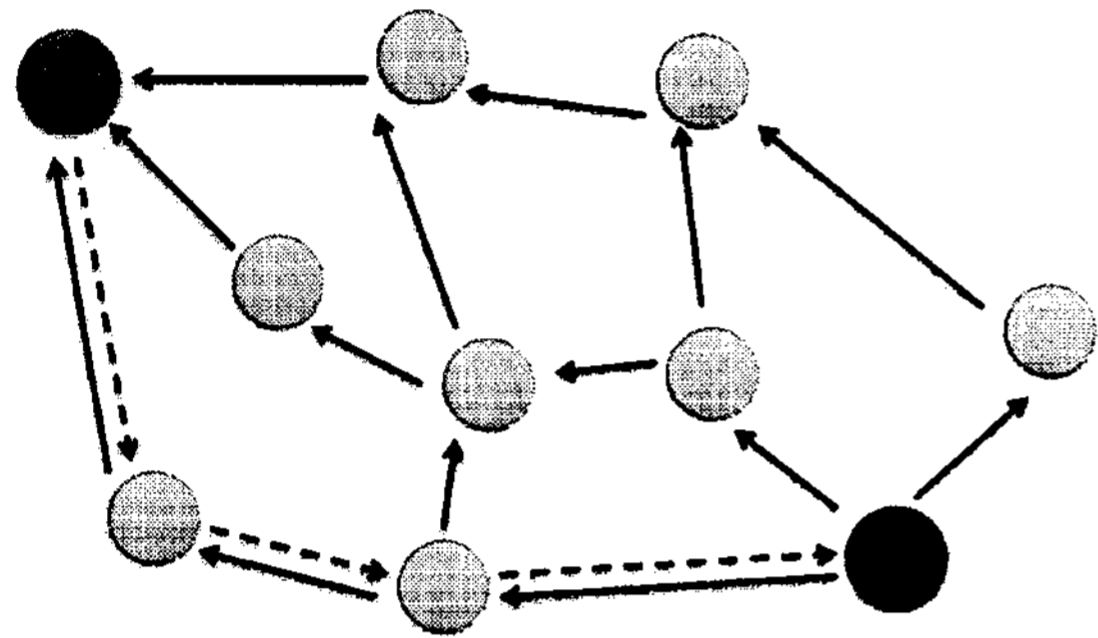
균형 에너지 소비 라우팅 방법

AODV 라우팅 프로토콜의 경로 탐색

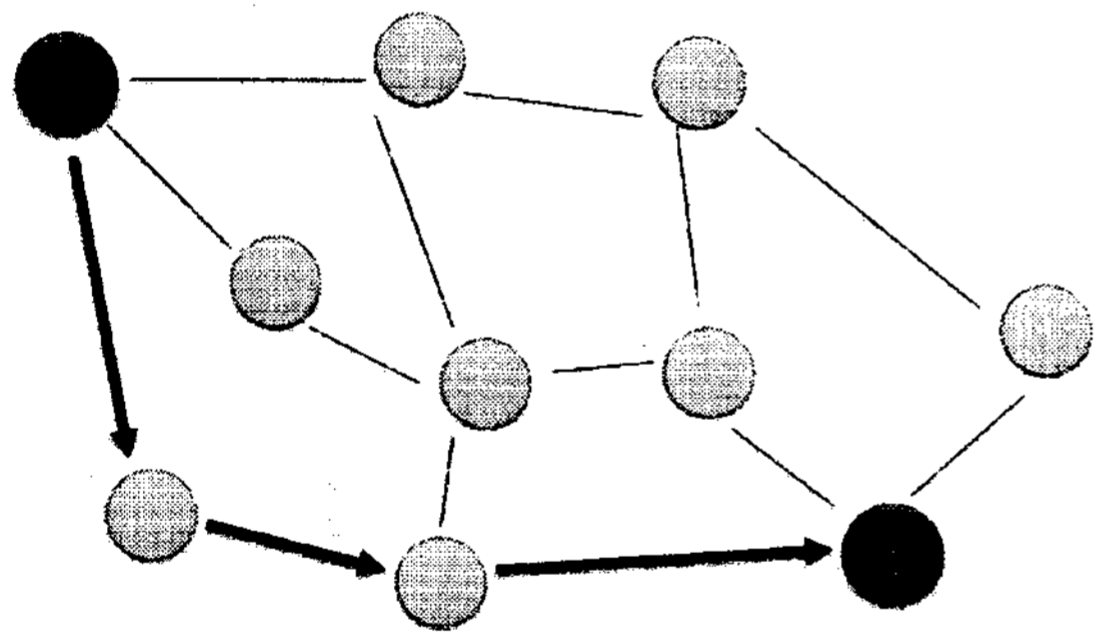
AODV 라우팅 프로토콜에서 노드들은 자주 사용하지 않는 경로 등의 모든 경로들을 유지하지 않고, 필요한 경우 경로 탐색을 하게 된다. 즉, 송신 노드가 수신 노드로 데이터를 보내고자 할 때, 송신 노드가 경로 정보를 가지고 있지 않은 경우에만 송신 노드는 주위 노드에 RREQ 메시지를 브로드캐스트 함으로써 수신 노드까지의 경로 탐색을 시작하게 된다.



(a) RREQ 메시지의 플러딩(flooding)



(b) RREP 메시지의 응답



(c) AODV 라우팅 경로 설정

S : 소스 노드(Source node)
D : 목적지 노드(Destination node)

그림 2 - AODV 라우팅 경로 설정 방법

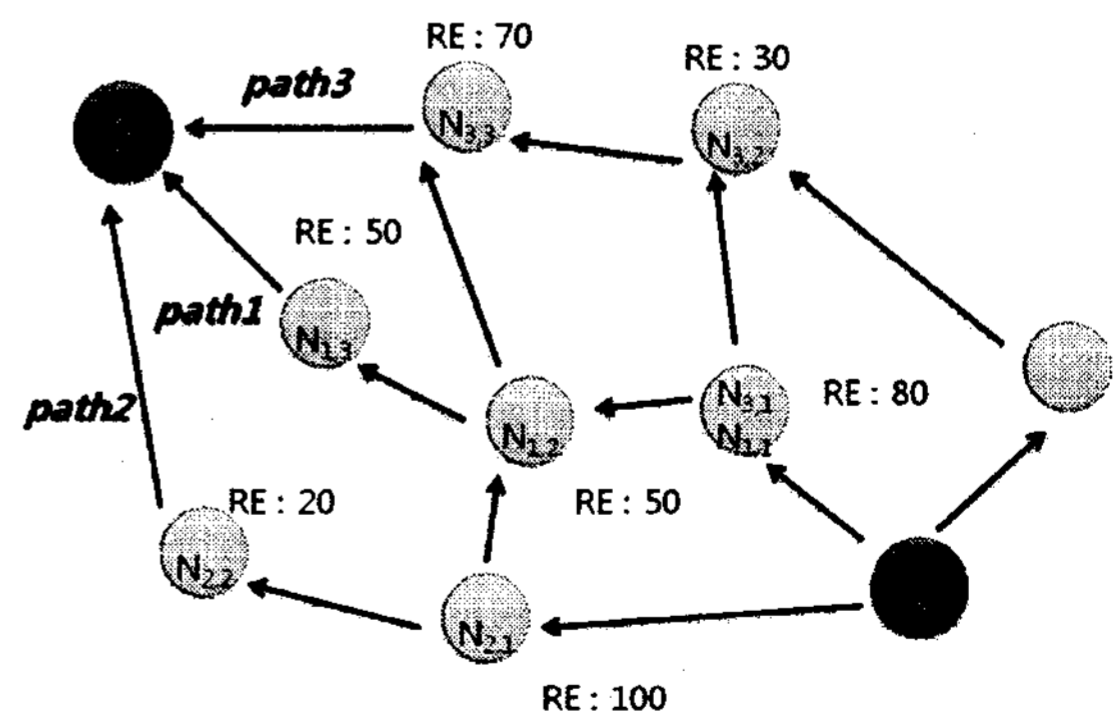
AODV의 경로 탐색은 필요시마다 수행되고, 필요한 때만 유지되며 모든 노드는 이웃노드의 위치에 변화가 있을 때마다 증가하는 순서 번호를 보유하고, 이 순서 번호는 경로 탐색이 수행될 때마다 가장 최근의 경로가 선택될 수 있게 한다. 그림 2와 같이 AODV의 경로 탐색 과정은 목적지까지의 경로를 찾기 위해 소스 노드는 RREQ 패킷을 브로드캐스트 한다. 이웃 노드들은 RREQ 패킷이 목적지에 대한 최근 경로 정보를 가진 중간

노드나 목적지에 도달할 때까지 RREQ 패킷을 다시 브로드캐스팅한다. 경로 정보를 가진 중간 노드나 목적지 노드가 RREQ 패킷을 수신하면, RREQ 패킷을 송신한 소스 노드에 RREP (route reply) 메시지를 전송한다. 이 때, 목적지 노드는 일정시간 동안 모든 RREQ 메시지를 수신하고 이 중 가장 작은 홉 수를 갖는 경로를 선택하여 RREP 메시지를 소스 노드로 전송한다.

AODV 라우팅 프로토콜은 출발지와 목적지 사이에 홉 수가 최소인 경로를 설정하므로 종단 간 데이터 전달 시 지연시간은 최소화된다. 또한 실제 센서 노드에서 가장 큰 에너지 소모를 요구하는 것이 데이터 전송인데 AODV의 경로 설정은 종단 간 최소의 전송과 수신이 발생하도록 하여 전체 에너지 소모 측면에서는 좋은 특성을 갖는다. 하지만 특정 종단 사이에서 빈번한 통신이 일어날 때 특정 경로 상으로만 발생하기 때문에 그 경로 상의 노드들은 조기에 에너지가 모두 소모되는 현상이 발생하게 되고, 에너지가 고갈된 노드가 증가하게 되면 결국은 전체 센서 네트워크의 파티션이 발생하게 된다. 결국 다른 파티션 사이에 데이터 전송이 불가능하게 되므로 센서 네트워크의 수명(lifetime)이 끝난 것이라고 할 수 있다. 그러므로 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위해서는 센서 노드들의 균일한 에너지 소모가 관건이라고 할 수 있다. AODV의 경로 설정 메커니즘에서는 각 노드의 잔여 에너지를 고려하지 않고 오직 홉 수만을 고려하므로 각 노드의 심각한 불균형적인 에너지 소모 현상이 발생한다[5][6].

제안할 라우팅 프로토콜 방법

제안할 라우팅 방법은 상기한 AODV 라우팅 프로토콜을 따르지만 경로 설정 시 홉 수가 아닌 잔여에너지와 소모에너지 그리고 보안레벨을 통하여 우선 경로를 설정한다.



$N_{i,k}$: i는 경로, k는 경로상의 노드 순서

그림 3 - 각 노드들의 잔여에너지

표 1-목적지 노드의 RREQ 메시지 정보 분석

경로	RE의 합	RE의 평균	분산	홉 수
<i>path1</i>	180	60	14.1	4
<i>path2</i>	120	60	40	2
<i>path3</i>	180	60	21.6	3

기존의 AODV 라우팅 방법을 사용할 경우 그림 3에서는 홉 수가 가장 작은 *path2*를 라우팅 경로로 설정하여 RREQ 메시지를 재전송하게 된다. 하지만 홉 수는 가장 적더라도 해당 경로의 잔여 에너지를 확인해 보면 $N_{2,2}$ 노드의 잔여에너지가 20으로 다른 노드들과 비교하였을 때 낮은 값이다. 이 노드를 경유하는 지속적인 통신이 발생 할 경우 노드의 잔여에너지는 고갈되어 결국 네트워크의 생존시간을 단축시키게 된다. 따라서 경로상의 노드들이 동일한 평균값을 가질 때 분산이 0에 제일 가까운 *path1*을 선택하게 되면 평균으로부터 낮은 산포도를 가진 것이므로 경로상의 여러 노드 중에서 특정 노드만 잔여에너지가 급격히 줄어 드는 일을 차단할 수 있다. 이를 위해 표2와 같이 기존의 RREQ 메시지에 RE (각 노드당 현재 잔여에너지), CE (각 노드의 송수신 시 소모에너지) 항목을 추가한다.

표 2-RREQ 메시지 서식

type	J	R	G	D	U	Reserved	Hop Count
RREQ ID							
Destination IP Address							
Destination Sequence Number							
Originator IP Address							
Originator Sequence Number							
RE (추가)							
CE (추가)							

소스 노드가 RREQ 메시지를 브로드캐스트하는 과정에서 해당 메시지가 전송되는 경로에 있는 중간 노드들이 RREQ 메시지를 수신하면 Hop Count를 1 증가시키고 RE항목과 CE항목에 자신들의 정보를 저장한다. 각 노드들을 거치면서 Hop Count는 계속 증가하고 RE, CE 항목에는 노드들의 정보를 계속 저장하며 최종 목적지 노드에 하나의 RREQ 메시지가 다다르면 이 후 일정시간 동안만 다른 RREQ 메시지를 수신하여 지나치게 오래 걸리는

경로를 사전에 배제한다. 목적지 노드는 수신된 메시지로부터 라우팅 경로를 설정하고 RREP 메시지를 작성하여 소스 노드에게 유니캐스트(unicast) 방식으로 전달한다. 최종적으로 소스 노드가 유니캐스트 된 RREP 메시지를 수신하게 되면 경로가 설정되고 데이터가 전송된다.

이제 목적지 노드가 수신한 RREQ 메시지로부터 라우팅 경로를 설정하는 방법을 설명한다. 라우팅 경로의 선택 기준은 다음 식을 따라 $f(p)$ 가 가장 큰 경로를 선택한다.

$$f(p) = \frac{\alpha}{E_R} - \beta E_C + \gamma S$$

$$\left\{ \begin{array}{l} E_R = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (E_{R_{i,k}} - m)^2}{n}}, i=1,2,\dots \\ m = \frac{\sum_{k=1}^n E_{R_{i,k}}}{n} \\ E_C = t \sum_{k=1}^n d(S_{i,k}, S_{i,k-1}) \\ S = SecurityLevel \end{array} \right.$$

E_R 는 수신된 RREQ 메시지 경로의 모든 노드들의 잔여에너지 값에 대한 분산을 구한 것이다. 목적지 노드까지 도착한 여러 경로 중에서 이 분산이 작은 경로의 노드들은 균일한 잔여에너지 분포를 가지고 있어서 경로의 유지 시간이 길어 질 수 있다. 이 때, m 은 p_i 경로에서의 잔여에너지의 평균값이다. 그리고, E_C 는 해당 경로의 인접한 노드들 사이의 거리에 따른 송수신시 소모에너지 양을 나타내는 식이다. t 는 에너지 상수로서 식이 복잡해지는 것을 방지하기 위해 1미터당 0.14nJ의 에너지를 사용하는 것으로 가정한다. α, β, γ 는 상수로서 가중치를 나타낸다.

그림 4에서 설정된 경로의 노드 사이의 거리를 구하면 *path1*은 소스 노드(source node)부터 목적지 노드(destination node)까지의 거리가 40이며 *path2*는 55, *path3*는 50이다. 결국 목적지 노드에 도착한 총 i 개의 경로 중에서 노드들의 잔여에너지의 편차가 크지 않고 상대적으로 짧은 거리의 경로를 보냄으로써 많은 잔여에너지를 가진 노드들로 적은 소모에너지를 사용하면서 통신을 할 수 있으므로 네트워크의 생존시간을 증가 시키는 라우팅 경로를 설정할 수 있다.

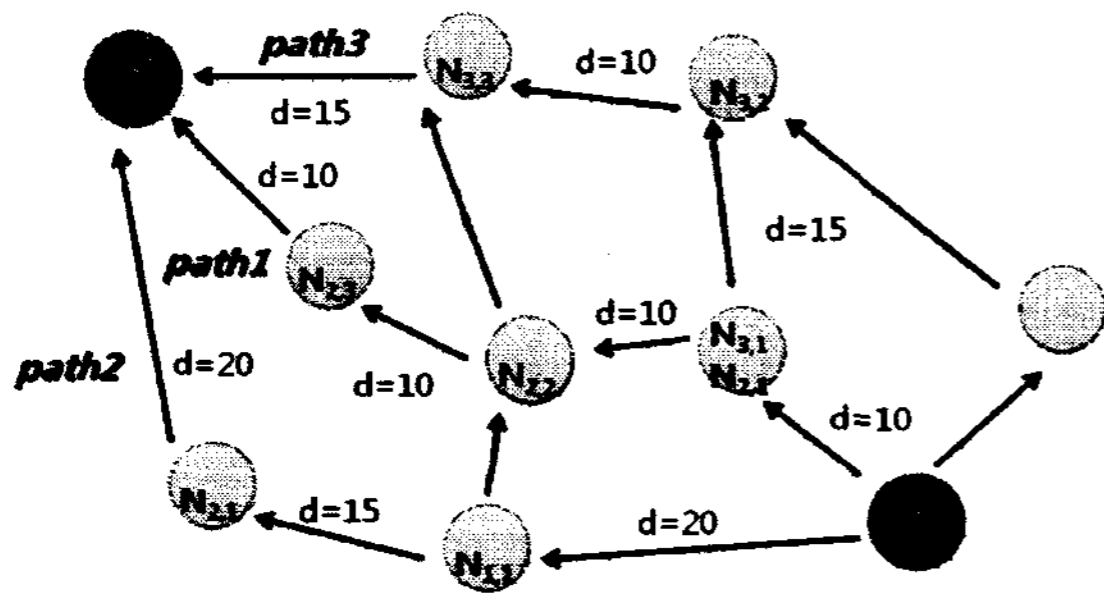


그림 4- 노드 사이의 거리

여기에 추가적으로 각 보안레벨을 검토하는데 본 논문의 주제가 에너지 소비에 균형성을 맞추자는 것이고 또 그 세부 내용 중에는 에너지 소비를 최소한으로 하자는 뜻도 포함이 되어있다. 따라서 데이터의 무결성과 데이터 출처(origin) 인증을 모두 제공해 주는 전자서명(digital signature)[7]과 HMAC(Hashed Message Authentication Code)[8]을 활용하기에는 센서 노드의 하드웨어적인 제약 때문에, 많은 양이 요구되는 전자서명이 부적합하고 HMAC은 비교적 계산이 단순하지만 경우에 따라 오버헤드를 야기할 수 있다. 따라서 URSC(Unique Random Sequence Code)를 통하여 보안레벨을 검증한다[9]. URSC에서는 길이가 L인 순차코드에 대해서 호핑(hopping) 패턴을 찾아 불규칙한 패턴의 순차코드생성자를 만들어 안전한 데이터 출처 인증을 제공한다. 이 인증방법은 네트워크의 성능에 영향을 미치지 않고 보안성을 제공해 줄 수 있는 경량화된 도전-응답(challenge-response) 방식의 인증방법이므로 USN에서 데이터 출처 인증과 프래쉬니스(freshness)를 동시에 제공하고 여러 공격으로부터의 공격가능성을 줄여 주며 합리적인 에너지 소모를 할 수 있게 한다.

결론

본 논문에서는 애드 혹 라우팅 프로토콜인 AODV 프로토콜을 무선 네트워크에서 사용할 경우 에너지를 고려하지 않는 경로 설정으로 인해 네트워크 수명이 단축되는 문제를 보완하기 위해 개선된 라우팅 프로토콜을 제시하였다. 노드의 잔여에너지와 소모에너지를 고려하여 경로를 설정함으로써 각 노드의 균형적인 에너지 소모를 유도하여 전체 네트워크의 수명을 연장하고자 하였다. 또한 센서 네트워크에서 각 노드의 고른 에너지 소모가 전체 네트워크의 수명 연장에 중요한 요인이라는 것을 확인할 수 있었다.

References

- [1] 정보통신부, <http://www.mic.go.kr/>
- [2] 최재원, 이광희, “무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 전달 기법,” 한국인터넷정보학회 학술발표대회 논문집, 제7권, 제1호, 2006년 4월, pp. 25-28.
- [3] 김지은, 김세한, 정운철, 김내수, “USN 센서 노드 기술 동향,” 전자통신동향분석, 제22권, 제3호, 2007년 6월, pp. 90-103.
- [4] 이재용 연세대학교, “유비쿼터스 센서 네트워크 기술,” TTA저널, 제95호, pp. 78-83.
- [5] 황도연, 임재성, “무선 센서네트워크에서 다중 경로 선정에 기반한 에너지 인식 소스 라우팅 프로토콜,” 한국통신학회논문지, 제31권, 1A호, 2006년 1월, pp. 23 ~ 29.
- [6] 한옥표, 이희춘, 정영준, “무선 센서 네트워크에서 유니캐스트를 위한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜,” 정보과학회논문지, 정보통신 제34권, 제4호, 2007년 8월, pp. 262-268.
- [7] R. L. Rivest *et al.*, “A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems,” *Comm. Of the ACM*, vol. 21, no. 2, pp.120-126, Feb. 1978.
- [8] M. Bellare *et al.*, “HMAC: Keyed hashing for message authentication,” *RFC 2104*. Feb. 1997.
- [9] 박민호, 이충근, 손주형, 서승우, “경량화 데이터 origin 인증을 통한 효율적인 센서 네트워크 보안에 관한 연구,” 한국통신학회논문지, 제32권, 제5호, 2007년 5월, pp. 402-408.