

센서 네트워크에서 효과적인 데이터 보급을 위한 계층적 라우팅 프로토콜

조지은^o 최종원

숙명여자대학교

jieun@sookmyung.ac.kr, choejn@sookmyung.ac.kr

A Hierarchical Routing Protocol for Supporting Energy-efficient Data Dissemination in Wireless Sensor Network

Jieun Cho^o Jongwon Choe

Sookmyung Women's University

요 약

센서 네트워크는 수많은 센서 노드로 구성된 센서 필드와 센서 노드로부터 데이터를 수집하는 싱크 노드로 이루어져 있으며, 유비쿼터스에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 현재 까지 연구 되어온 센서 네트워크에 대한 연구의 중요한 이슈중 하나는 센서 노드가 제한 자원을 가지기 때문에 한정된 에너지를 최대한으로 사용하여 네트워크의 수명을 연장하는 것이다, 그러나 기존 연구 대부분이 고정된 상태의 싱크 노드를 고려하기 때문에 본 연구에서는 이동성을 가진 싱크노드가 다수가 존재하는 경우 센서 필드에서 수집된 데이터가 이동 싱크 노드까지 끊임없이 전송 될 수 있으며 효율적인 데이터 보급을 제공하는 계층적 라우팅 프로토콜을 제안한다.

1. 서론

유비쿼터스 응용에 다양하게 사용 되고 있는 무선 센서 네트워크는 특정 현상을 발견하기 위해 일정 지역에 분포된 무선 센서 노드들로 구성된 네트워크이다. 센서 네트워크는 고정된 인프라 없이 노드들만으로 네트워크를 구성하는 것이 기존 애드 혹 네트워크와 같지만 센서 노드들은 제한된 컴퓨팅 자원과 충분 하지 못한 에너지를 가지고 있기 때문에 무선 센서 네트워크를 설계하기 위해서는 에너지 효율성을 반드시 고려해야 한다. 기존에 제안된 프로토콜 중 평면 라우팅 프로토콜은 데이터 중심적인 특성에 기반으로 하는 라우팅 기법으로 전체 네트워크로부터 데이터를 수집하고자 할 경우 데이터 전송에 참여하는 센서노드의 수를 증가시켜서 많은 에너지 소비를 유발 시킨다. 그러나 계층적 라우팅 프로토콜은 클러스터를 구성하고 각 클러스터의 대표인 클러스터 헤드 노드가 클러스터 안에서 수집된 정보를 통합하여 싱크 노드에 전달하기 때문에 데이터 통합을 통해서 전송 데이터양을 줄임으로써 통신비용을 줄일 수 있다. 그러나 기존에 제안된 계층적 라우팅 프로토콜은

고정된 싱크노드를 가진 정적인 환경만을 고려하고 있기 때문에 다수의 이동 싱크노드가 존재하는 경우 싱크 노드로의 정확한 데이터 전달이 어렵다

이렇듯 센서 네트워크에서 이동 싱크 노드가 존재하는 경우에 이를 지원하고 문제점을 해결하기 Two-Tier Data Dissemination approach: TTDD[1] 제안되었다.

이 방식은 관심 현상을 발견한 센서 노드가 소스 노드가 되어서 그리드(grid)를 구성하여 위치 정보를 교차점에 가까운 곳에 위치한 노드가 DN(Dissemination Node)가 회송 정보를 가지고 있으며 싱크로부터 질의가 발생하면 DN이 가지고 있는 위치 정보를 통해서 소스까지 질의를 전달한다. 이렇게 함으로써 소스 노드와 싱크 노드 사이의 연결을 유지하고 싱크노드가 이동하더라도 데이터를 계속 수신 할 수 있다. 그러나 TTDD는 소스 노드가 관심 현상을 발견할 때 마다 그리드 구조를 형성해야 하므로 그리드 구조 형성과 유지에 따른 오버헤드가 발생하게 된다. 따라서 단일 소스 노드가 아닌 동시 다발적으로 소스 노드가 존재 하는 경우에는 사용하기가 힘들게 된다.

본 논문에서는 계층적 라우팅 프로토콜을 이용하여 여러 개의 이동 싱크 노드가 센서 네트워크에 존재하더라도

* 이 논문은 서울시 산학연 협력사업(10544)의 지원에 의하여 연구되었음

도 효과적으로 데이터를 보급 할 수 있는 방안을 제안한다. 일반적으로 센서 네트워크의 계층적 라우팅 프로토콜은 클러스터 내의 통신에 따라 단일 홉 클러스터와 멀티 홉 클러스터로 구분 된다 단일 홉 클러스터는 클러스터 내의 모든 센서 노드들이 클러스터 헤더와 단일 홉으로 통신을 하는 것을 말하며 패킷 전송 시 중간 노드에 의해 전송이 발생하지 않는다 즉 센서 노드와 클러스터 사이의 통신이 직접적으로 이루어지기 때문에 한순간에 한 노드만이 전송 할 수 있다 반면 멀티 홉 클러스터는 센서 노드와 클러스터 헤더 사이의 통신이 중간 노드들을 통해서 이루어진다 현실 환경에 적응하기 위해서는 멀티 홉 전송 방안이 존재해야 하며 본 연구에서는 2-level 의 계층적 구조를 이용 하여 1-Level 구조에서는 단일 홉 모드를 지원하고 2-level에서는 멀티 홉 모드를 지원하여 싱크 노드의 이동성을 지원 하고자 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다 2절에서는 관련 연구로 무선 센서 네트워크에서 제안된 기존의 프로토콜을 살펴보고 이들의 문제점에 대해 기술 하고 3장에서는 본 연구에서 제안하고 있는 센서 네트워크에서 효과적인 데이터 보급을 위한 계층적 라우팅 프로토콜을 소개하고, 4장에서는 기존의 프로토콜과 본 논문에서 제안 하는 라우팅 프로토콜의 통신비용을 분석 하여 비교 한다 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대해서 살펴본다.

2. 관련 연구

무선 센서 네트워크의 라우팅 프로토콜은 평면 기반 라우팅 프로토콜과 계층적 라우팅 프로토콜로 나눌 수 있다 평면 기반 라우팅 프로토콜 중 Directed Diffusion[2]는 싱크 노드의 질의 방송에 기반을 둔 데이터 중심적 라우팅 기법으로 질의 유포 및 처리 응용에 적합한 특성을 가진다. Directed Diffusion에서 해당 응용에 대한 질의는 속성과 값의 쌍으로 구성되는 interest로 표현되어 싱크 노드에서 시작되어 네트워크 전체에 유포된다 그러므로 전체 센서 네트워크로부터 데이터를 수집하는 경우에는 데이터 전송에 참여하는 센서 노드의 수가 증가 하게 되어 에너지 소비를 유발하게 된다 따라서 큰 규모의 센서 네트워크에는 적합하지 않으며 다수의 이동 싱크 노드가 존재 하는 경우 이들의 잦은 위치 업데이트로 인한 통신의 오버헤드가 발생하게 된다 이에 반해 계층적 라우팅 프로토콜인 LEACH[3]와 HEED[4]의 경우는 클러스터를 구성하여 각 클러스터 헤더로 하여금 클러스터 내부에 수집된 정보를 통합관리 하고 싱크 노드로부터 전달하도록 한다 따라서 평면 기반 라우팅 프로토콜에 반해서 적은 데이터 전송으로 통신비용을 줄일 수 있으며, 주기적으로 클러스터를 재구성하고 라우팅 테이블을 갱신 하는 것으로 인하여 부분적으로 싱크 노드가 이동하는 경우 이동성을 지원하지만 이것은 완전하게 이동성을 제공하는 것은 아니다 따라서 이러한 문제

점을 해결하기 위해서 제안된 프로토콜이 Two-Tier Data Dissemination approach: TTDD 이다. 이 프로토콜은 관심 사건이 발생 했을 때 싱크 노드에게 데이터를 전송하기 위해서 소스 노드가 능동적으로 그리드를 만든다 그리드의 각 교차점에는 회송 정보를 가지고 있는 DN(Dissemination Node)가 존재한다 소스 노드에 의해서 그리드 구조가 형성 되며 DN을 이용하여 Directed Diffusion과 달리, 모든 노드가 회송 정보를 가지지 않고 DN만이 회송 정보를 가지게 된다 따라서 싱크 노드의 이동에 따라 업데이트로 일어나거나 소스 노드가 관심 사건을 발견한 경우에도 전체 모든 노드에 알리는 대신에 DN에게만 알려 줌으로써, 위치 업데이트로 인한 통신 오버헤드를 줄일 수 있다 그러나 앞서 말한 것과 같이 TTDD는 소스 노드가 동시 다발적으로 생성 되는 경우 각 소스 노드에 따른 그리드 구조를 형성하고 이를 유지하기 위해서 역시 통신 오버헤드가 발생한다

따라서 본 논문에서는 TTDD에서 발생하는 그리드 형성과 유지의 오버헤드를 줄이기 위해 영구적인 그리드 구조를 사용하며[5, 6], 평면 라우팅 프로토콜에서 발생하는 데이터 전송에 따른 오버헤드를 줄이기 위해서 계층적 개념을 도입하여 이동 싱크 노드가 존재 할 경우에도 효과적인 데이터 전송 방안을 제안한다

3. 효과적인 데이터 보급을 위한 계층적 라우팅 프로토콜

본 연구에서는 이동 싱크 노드의 문제에 따른 잦은 업데이트 문제를 해결하기 위해서 평면 구조가 아닌 계층적 구조를 통해서 데이터 전송에 필요한 노드의 수를 줄이고자 하였으며, 또한 2-Level의 고정 그리드 구조를 이용하여 TTDD에서 발생하는 그리드 구성과 유지에 따른 통신 오버헤드를 줄이고자 하였다 또한 1-Level 클러스터 안에서는 단일 홉 모드로 동작하고 2-level 클러스터 안에서는 멀티 홉 모드로 동작함으로써 이동 싱크 노드로의 데이터 손실이 발생을 최소화 시키고자 하였다.

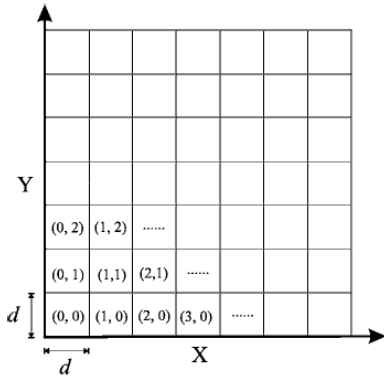
3.1 클러스터 구성

본 연구에서는 TTDD가 가지고 있는 그리드 형성과 유지에 따른 오버헤드를 줄이기 위해서 고정 그리드 구조를 사용한다. 또한 센서 네트워크의 효율성을 높이기 위해서 2-Level의 고정 그리드 구조의 클러스터링을 구성하였다. 클러스터의 헤더 선정은 LEACH에서 사용한 방법을 이용하도록 한다

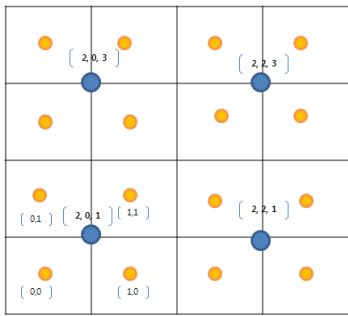
[그림 1]은 1-Level의 그리드를 형성하고 있는 과정이다. 각 센서 노드가 센서 필드에 전개되기 전에 x, y 좌표를 이용하여 센서 필드에 고정 그리드를 만들고 각 그리드의 셀에 고유한 아이디를 부여한다 각 그리드는 (x, y)의 ID를 부여 받는다. 센서 노드가 센서 필드에 전개 되면 각각의 센서 노드는 자신의 그리드 ID를 가지게 되고 그 값을 저장한다 고정 그리드를 사용하므로

각 그리드 ID는 바뀌지 않는다. [그림 2]은 2-Level의 그리드 형성 과정을 설명하고 있다 1-Level의 그리드 4개를 통합하여 2-Level의 그리드를 형성 하고 있다 2-Level 그리드는 다음과 같이 ID를 부여 받는다.

$$2\text{-Level Grid ID} = \begin{bmatrix} 2, \\ \text{Min}(1\text{-Level } x \text{ coordinate}), \\ \text{Max}(1\text{-Level } y \text{ coordinate}) \end{bmatrix}$$



[그림 3] 1-level 그리드 형성



[그림 4] 2-Level 그리드 형성

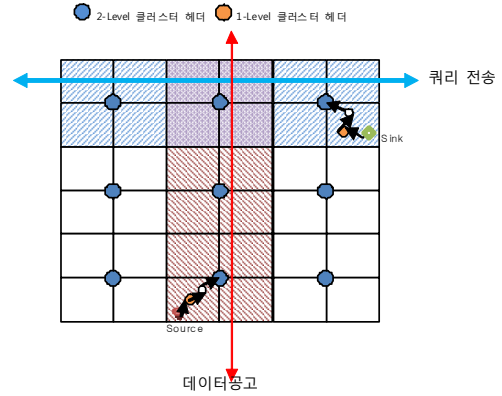
3.2 데이터 광고 및 쿼리 전송

센서 노드가 관심 사건을 발견하면 이를 제일 먼저 감지한 센서 노드는 소스 노드가 된다 소스 노드는 데이터 광고 패킷을 자신의 지역 클러스터 헤더 즉 1-Level의 클러스터 헤더에게 전송한다 이를 받은 1-Level의 클러스터 헤더는 멀티 홉 모드를 이용하여 2-Level 클러스터 헤더에게 전송 한다. 2-Level 클러스터 헤더는 [그림 6]과 같이 자신의 세로축에 위치한 2-Level의 클러스터 헤더에게 데이터 광고 패킷을 전송하고 이를 받은 패킷은 자신의 캐쉬에 데이터 광고 패킷을 저장한다 싱크노드가 데이터를 필요로 할 때 쿼리를 1-level의 클러스터 헤더에게 전달을 한다. 이를 받은 1-level의 클러스터 헤더는 [그림 3]과 같이 멀티 홉 모드를 이용하여 자신의 가로축에 위치한 클러스터 헤더에게 전송을 한다

3.3 데이터 전송

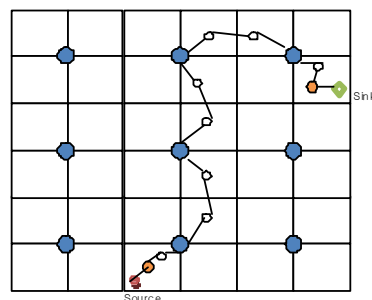
데이터 전송은 [7]에서 와 같이 데이터 광고와 쿼리 전

송이 교차 되는 그리드에 있는 회송 정보를 가지고 소스 노드에서 싱크 노드까지 데이터를 전송한다 즉 [그림 4]에서 보여 주듯이 소스 노드는 쿼리를 받으면 데이터 패킷을 형성하여 싱크 노드로 데이터 패킷을 전송



[그림 2] 데이터 광고 및 쿼리 전송

한다. 먼저 싱크가 데이터가 필요로 하면 쿼리 전송 과정을 통해 쿼리를 전송한다 쿼리 전송 도중에 데이터 광고 패킷을 통해 지리적 회송 정보를 가지고 있는 2-Level 클러스터 헤더를 만난다면 그 회송 정보를 통해서 쿼리를 소스 노드가 존재 하는 2-Level 클러스터 헤더에게 쿼리를 전달한다. 쿼리를 전달 받은 2-Level 클러스터 헤더는 소스 노드가 존재하는 1-Level 클러스터 헤더에게 멀티 홉 모드로 쿼리를 전달하고 이를 받은 1-Level 클러스터 헤더는 단일 홉 모드로 소스 노드에게 전달한다 데이터를 생성하고 데이터를 역 경로를 사용하여 싱크가 존재하는 1-Level 클러스터 헤더까지 데이터를 전달한다 데이터를 전달받은 1-Level 클러스터 헤더는 데이터를 브로드캐스트한다

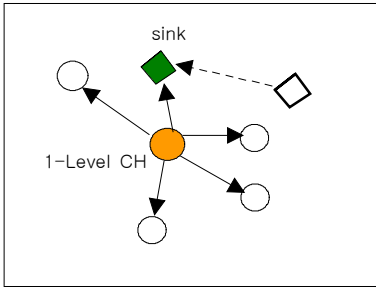


[그림 5] 데이터 전송

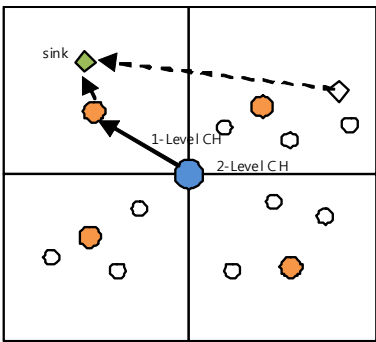
3.4 경로 유지

센서 네트워크에 이동 싱크 노드가 존재 할 때 소스 노드에서 싱크 노드로 데이터 전송하는 도중에 싱크 노드가 이동하여 링크가 단절 되어 데이터 전송이 실패하는 경우가 발생하게 된다 따라서 데이터 전송 경로의 변화에 대응 하여 경로를 유지 수 있어야 한다 본 논문은

2계층의 클러스터링 구조를 사용함으로써 [그림 5] 과 같이 싱크 노드가 같은 1-Level 클러스터 안에서 이동했을 경우, 데이터가 브로드 캐스트 되므로 같은 클러스터 안에서 이동하더라도 데이터를 전송 받을 수 있다 [그림 6] 과 같이 다른 1-Level의 클러스터로 이동한 경우 이를 2-Level의 클러스터에게 알림으로써 소스 노드로부터 데이터가 전송 시에 새로운 경로로 데이터를 전송 할 수 있도록 한다.



[그림 6] 1-Level 클러스터 안에서 싱크 노드 이동



[그림 7] 2-Level 클러스터 안에서 싱크 노드 이동

4. 성능분석

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 프로토콜의 통신비용을 수학적으로 분석 하였다 분석을 위하여 분석 모델을 정의하고 제안하는 프로토콜의 성능을 나타내기 위해서 기존 라우팅 프로토콜인 TTDD와 성능을 비교 분석 하였다. 데이터, 쿼리의 병합, 그리드 유지에 관한 비용은 고려하지 않았다. 센서 필드 (A)는 한 변의 길이가 α 인 그리드로 나누어진다. 각 그리드에는 $n = \frac{N\alpha^2}{A}$ 개의 센서가 존재하고, 그리드 한 변의 길이는 \sqrt{n} 으로 나타낼 수 있다. 플러딩을 할 때 사용하는 패킷의 수는 전체 센서 노드의 수와 비례하고, 지리적 회송은 전송 경로에 포함된 센서 노드의 수에 비례하며, 사용된 패킷의 양에 따른 최대 통신비용에 대하여 분석 한다.

- 센서 네트워크에는 k개의 모바일 싱크가 존재한다.

- 싱크 노드는 v속도로 m개의 셀을 지나며 d개의 데이터 패킷을 받는다
- 싱크 노드는 한 셀에서 받을 수 있는 데이터의 양은 d/m 개이며 단위 크기이다
- 모든 제어 패킷의 수는 1이며 크기는 모두 1이다.
- 센서 노드와 센서 노드 사이의 거리 상수는 c라고 하고 다음 과 같이 정의 한다
 - c는 하나의 셀이나 전체 센서 네트워크에서 두 노드 사이의 거리가 가장 가깝다고 하더라도 겹치지 않으므로 0보다는 크고 가장 멀리 있는 경우는 대각선의 직선거리이므로 $\sqrt{2}$ 이다.

4.1 데이터 공고

제안된 프로토콜은 센서 노드가 관심 사건을 발견하면 데이터 공고 패킷을 1-Level의 클러스터 헤더에게 단일 홉 모드로 전송한다. 이를 받은 1-Level의 클러스터 헤더는 2-Level의 클러스터 헤더에게 멀티 홉 모드로 전송하게 되며, 이 패킷을 2-Level클러스터는 자신의 세로축에 위치한 2-Level클러스터에게 전달한다.

$$l + \frac{2c\sqrt{nl}}{2} + \sqrt{N}l$$

4.2 쿼리 전송

싱크 노드가 데이터를 필요로 할 경우 자신의 1-Level의 클러스터 헤더에게 단일 홉 모드로 쿼리를 전송한다. 1-Level의 클러스터 헤더는 쿼리 패킷을 멀티 홉 모드로 자신의 2-Level클러스터 헤더로 전송한다. 그런 후 2-Level클러스터 헤더는 쿼리를 자신의 가로축에 위치한 2-Level 클러스터 헤더로 쿼리를 전송한다.

$$2l + \frac{2c\sqrt{nl}}{2} + \sqrt{2}c\sqrt{N}l$$

4.3 데이터 전송

싱크 노드로부터 쿼리를 전송 받은 소스 노드는 데이터를 생성하여 자신의 1-Level 클러스터에게 데이터를 전달하고, 이를 다시 2-Level 클러스터 헤더에게 전달한다. 2-Level 클러스터 헤더는 역 경로를 사용하여 싱크 노드가 존재하는 1-Level 클러스터 헤더로 전송하고, 이를 받은 싱크 노드의 클러스터 헤더는 데이터 패킷을 브로드 캐스트 한다.

$$\left(1 + \frac{2c\sqrt{nl}}{2} + \sqrt{2}c\sqrt{N}l + n\right) \frac{d}{m}$$

4.4 전체 통신비용

총 통신비용은 k개의 싱크 노드가 m개의 그리드를 지나는 경우이며 다음과 같다.

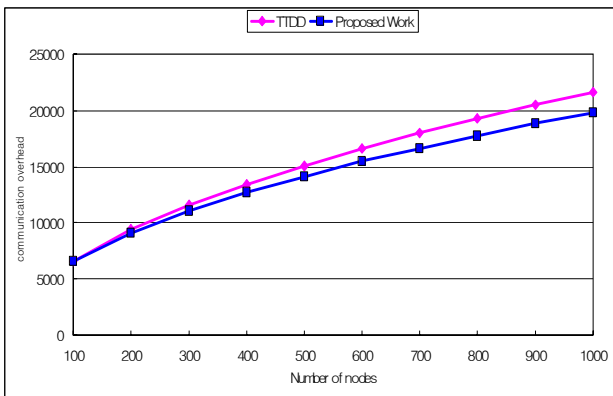
$$l + \frac{2c\sqrt{nl}}{2} + \sqrt{N}l + k(2l + d + n) + kc(ml + d)\sqrt{n} + \sqrt{2}kc(ml + d)\sqrt{N}$$

4.5 TTDD 통신비용

데이터 공고를 위해 그리드 구조를 형성하고 이를 위해 모든 센서 노드에게 먼저 플래딩 한다 그리고 그리드의 교차점에 위치한 DN(Dissemination Node)에게 공고 패킷을 보낸다. 그에 따른 통신비용은 $\frac{4N}{\sqrt{n}}l + M$ 이다. 그리고 싱크 노드에서 데이터를 필요로 할 경우 쿼리 패킷을 인접 중계 노드에게 지역적 플래딩을 통해서 플래딩 한다. 인접 중계 노드는 이 패킷을 DN을 통해서 쿼리 패킷을 소스 노드까지 전달해야 하는데 이에 필요한 통신비용은 $nl + \sqrt{2}c\sqrt{N}l$ 이다. 데이터 전송의 경우 소스 노드가 싱크노드로부터 데이터 요청의 쿼리 패킷을 받으면 데이터를 역 경로를 통해서 싱크 노드까지 전달하게 되고 통신비용은 $(c\sqrt{n} + \sqrt{2}c\sqrt{N})\frac{d}{m}$ 이다. 따라서 k개의 싱크 노드가 m개의 그리드를 지나는 총 통신비용은 다음과 같다

$$\frac{4N}{\sqrt{n}}l + M + kmnl + \sqrt{2}kc(ml + d)\sqrt{N} + kdc\sqrt{n}$$

[그림7] 는 제안된 프로토콜과 TTDD의 통신비용을 분석 한 것으로 제안된 프로토콜의 사용된 패킷의 양이 TTDD에서 사용된 패킷의 양에 비하여 작아짐에 따라 통신비용을 줄일 수 있음을 알 수 있다 또한 센서 노드 많아질수록 두 프로토콜의 통신비용의 차이가 많아짐을 알 수 있다. 따라서 제안된 프로토콜이 센서 노드가 많은 조밀한 센서 네트워크에서 보다 효율적임을 알 수 있다.



[그림 8] 통신비용 비교 분석

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 기존의 제안되었던 계층적 라우팅 프로토콜에서 싱크 노드가 이동함으로써 데이터 전송 및 경

로가 단절되는 것을 보완하기 위해서 싱크 노드의 이동에 따른 데이터 전송 경로의 변화에 대응 할 수 있는 방안을 제시하고 결과적으로 센서 네트워크에 이동 싱크노드가 존재하더라도 효과적으로 데이터를 전송 할 수 있는 방안에 대해서 제안하였다.

이를 위해 2 계층의 클러스터링을 통한 계층적 라우팅 프로토콜을 사용하였으며 또한 싱크 노드의 이동에 대응하기 위해 계층에 따라 단일 홉과 멀티 홉 모드를 달리 사용하였다.

또한 데이터 공고는 소스 노드의 세로축에 존재하는 클러스터와 싱크 노드의 데이터 요청을 위한 쿼리 전송은 싱크 노드의 가로축에 위치한 클러스터헤더로 전달함으로써 모든 클러스터 헤더가 회정정보를 가지게 하는 대신 특정 클러스터 헤더만 회송 정보를 가지게 함으로써 데이터 전달시 쿼리와 데이터 공고 패킷을 둘 다 가지고 있는 클러스터 헤더의 정보를 통해서 소스 노드와 싱크 노드 사이의 경로가 설정 될 수 있도록 하였다 또한 수학적 비교 분석을 통해서 제안된 프로토콜이 TTDD보다 센서 노드의 수가 많을수록 보다 효율적임을 알 수 있었다. 이후에는 시뮬레이션을 통해서 제안된 프로토콜의 효율성에 대한 검증이 필요 하겠다

참고문헌

- [1]Haiyun Luo, Fan Ye, Jerry Cheng, Songwu Lu, Lixia Zhang "TTDD: two-tier data dissemination in large-scale wireless sensor networks " MOBICOM 2002.
- [2]C. Intanagoniwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks " MOBICOM 2000.
- [3]Wendi Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks, Proc. Hawaiaian Int'l Conf. on Systems Science, January 2000.
- [4]Ossama Younis and Sonia Fahmy "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach" IEEE Infocom, pp629-640, March 2004.
- [5]WEN-HWA LIAO and JANG-PING SHEU "GRID: A Fully Location-Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks" Telecommunication Systems 2001.
- [6]Guoliang Xing, Chenyang Lu, Robert Pless ,Joseph A. O' Sullivan "Co-Grid: an Efficient Coverage Maintenance Protocol for Distributed Sensor Networks" IPSN 04.
- [7]D. Niculescu, B. Nath "Trajectory based forwarding and its applications" MOBICOM 2003.