

클러스터 기반의 무선 센서네트워크에서 통신량을 줄인 데이터 보급방법

(An Efficient Data Dissemination Protocol for Cluster-based Wireless Sensor Networks)

조 지 은 * 최 종 원 **
(Jieun Cho) (Jongwon Choe)

요 약 센서 네트워크는 수많은 센서 노드들로 구성된 센서 필드와 센서 노드로부터 데이터를 수집하는 싱크 노드로 이루어져 있으며, 유비쿼터스에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 지금까지 연구되어 온 센서 네트워크에 대한 중요한 이슈 중 하나는 센서 노드가 제한된 자원을 가지기 때문에 한정된 에너지를 최대한 효율적으로 사용하여 네트워크의 수명을 연장하는 것이다. 그러나 기존 연구 대부분이 고정된 상태의 싱크 노드를 고려하기 때문에 이동성을 가진 싱크 노드가 다수가 존재하는 경우 여러 가지 문제점이 발생되었다.

따라서 본 연구에서는 이동 싱크노드들의 경로를 유지하고 필요한 에너지의 소모를 줄이기 위해서 클러스터 내에서의 전송을 계층에 따라 단일 홉 모드와 멀티 홉 모드를 함께 사용함으로써, 데이터 보급 및 경로 유지에 사용되는 패킷을 줄이고자 하였다. 또한 데이터 전송에 참여하는 노드의 수를 줄이기 위해 2계층 그리드 기반의 클러스터 구조를 사용하여 특정 노드만이 데이터 전송에 참여하도록 하였으며, 라우팅을 간단히 하기 위해 패킷 전송 시 격자 방식의 포워딩을 사용하였다. 제안된 방안의 성능평가를 위해서 시뮬레이션을 통해서 두 계층 데이터 전송 라우팅 프로토콜과 비교하였다. 그결과 2배 정도의 통신량이 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다.

키워드 : 무선 센서네트워크, 데이터 보급, 계층적 라우팅, 이동 싱크노드

Abstract A sensor network is an important element of the ubiquitous and it consists of sensor fields that contain sensor nodes and sink nodes that collect data from sensor nodes. Since each sensor node has limited resources, one of the important issues covered in the past sensor network studies has been maximizing the usage of limited energy to extend network lifetime. However, most studies have only considered fixed sink nodes, which created various problems for cases with multiple mobile sink nodes.

Accordingly, while maintaining routes to mobile sink nodes, this study aims to deploy the hybrid communication mode that combines single and multi-hop modes for intra-cluster and inter-cluster transmission to resolve the problem of failed data transmission to mobile sink nodes caused by disconnected routes. Furthermore, a 2-level hierarchical routing protocol was used to reduce the number of sensor nodes participating in data transmission, and cross-shape trajectory forwarding was employed in packet transmission to provide an efficient data dissemination method.

Key words : Wireless Sensor Network, data dissemination, hierarchical routing protocol, mobile sink

* 본 연구는 숙명여자대학교 2008년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음

* 학생회원 : 숙명여자대학교 정보과학부
jieun@sookmyung.ac.kr

** 종신회원 : 숙명여자대학교 정보과학부 교수
choejn@sm.ac.kr

논문접수 : 2008년 9월 29일

심사완료 : 2009년 2월 13일

Copyright©2009 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제36권 제3호(2009.6)

1. 서론

유비쿼터스 응용에서 다양하게 사용되고 있는 무선 센서 네트워크는 특정 현상을 발견하기 위해 일정 지역에 분포된 무선 센서 노드들로 구성된 네트워크이다. 이러한 센서 네트워크는 고정된 인프라 없이 노드들만으로 네트워크를 구성하는 것이 기존 애드 혹 네트워크와 같지만 센서 노드들은 제한된 컴퓨팅 리소스와 충분하지 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 라우팅기법으로 전체 네트워크로부터 데이터를 수집하고자 할 경우 데이터 전송에 참여하는 센서 노드의 수를 증가 시켜서 많은 에너지 소비를 유발시킨다. 이에 반해 계층적 라우팅 프로토콜은 클러스터를 구성하고 각 클러스터 헤더 노드가 클러스터 안에서 수집된 정보를 통합하여 싱크 노드에 전달하기 때문에 데이터 통합을 통하여 결과적으로는 전송 데이터양을 줄임으로써 통신비용을 줄일 수 있다. 그러나 기존에 제안된 계층적 라우팅 프로토콜은 고정된 싱크 노드를 가진 정적인 환경만을 고려하고 있기 때문에 다수의 이동 싱크 노드가 존재하는 경우 싱크 노드로의 정확한 데이터 전달이 어렵다.

이렇듯 센서 네트워크에서 이동 싱크노드가 존재하는 경우에 이를 지원하고 문제점을 해결하기 위해 Two-Tier Data Dissemination approach:TTDD[1]이 제안되었다. 이 방식은 관심 현상을 발견한 센서 노드가 소스 노드가 되어서 그리드를 구성하여 지리적 회송 정보를 교차점에 가까운 곳에 위치한 노드인 DN(Dissemination Node)에게 알린다. 그리고 싱크 노드로부터 질의가 발생하면 DN이 가지고 있는 지리적 회송 정보를 통해서 소스 노드까지 질의를 전달한다. 이렇게 함으로써 포워딩 방식[2]에 비해서는 이동 싱크 노드가 존재하더라도 위치 업데이트로 인한 오버 헤드를 줄일 수 있었다. 그러나 TTDD는 소스 노드가 관심 현상을 발견할 때 마다 그리드 구조를 형성해야 하므로 그리드 형성과 유지에 따른 오버헤드가 발생함에 따라 소스 노드가 하나인 경우에 적합하다. 즉 단일 소스 노드가 아닌 동시 다발적으로 소스 노드가 존재하는 경우에는 역시나 많은 오버헤드가 발생하므로 이용하기가 어렵다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 위치 기반의 계층적 라우팅을 이용하여 여러 개의 이동 싱크노드가 센서 네트워크에 존재하더라도 효과적으로 데이터를 보급할 수 있는 방안을 제안한다. 이를 위해 먼저 데이터 전송에 참여하는 센서 노드들의 수를 줄이

기 위해 2계층 그리드기반의 클러스터 구조를 사용하여 전송 시 각 클러스터의 헤더 중심의 전송이 이루어지도록 함으로써 전송 참여 센서 노드 수를 줄이고자 하였다. 그리고 라우팅 방식을 간단하게 하고자 격자 방식의 포워딩을 사용하였다.

일반적으로 센서 네트워크에 이동 싱크노드가 존재할 경우 발생할 수 있는 문제 중 하나는 데이터 전송 중 싱크 노드의 이동에 따른 경로 손실이다. 더구나 손실된 경로 대신에 다른 경로로 재설정하기 위해 발생하는 제어 패킷수가 기존의 고정된 싱크 노드가 존재하는 센서 네트워크와 비교하여 더 많은 수의 제어 패킷이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하고자 그리드 구조의 클러스터내의 통신을 단일 홉 모드와 멀티 홉 모드로 구분 사용하여 불필요한 제어 패킷의 수를 줄이고자 하였다[3].

단일 홉 모드는 클러스터내의 모든 센서 노드들이 클러스터 헤더 노드와 단일 홉으로 통신을 하는 것을 말하며 패킷 전송 시 중간 노드에 의한 전송이 발생하지 않는다. 즉 센서 노드와 클러스터사이의 통신이 직접적으로 이루어지기 때문에 한순간에 한 노드만이 전송할 수 있다. 반면 멀티 홉 모드는 센서 노드와 클러스터 노드사이의 통신이 중간 노드들을 통해서 이루어진다. 본 연구에서는 1계층 클러스터에서는 단일 홉 모드를 사용하고 2계층 클러스터에서는 멀티 홉 모드를 사용하여 필요한 제어 패킷의 수를 줄임으로써 센서 네트워크에서 중요한 에너지 효율성을 높이고자 하였다. 이외에도 필요한 제어 패킷의 수를 줄이기 위해서 본 연구에서는 고정 그리드 구조를 사용하여 TTDD에서 발행하는 그리드 생성과 유지에 따른 오버헤드를 줄이고자 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구로 무선 센서 네트워크에서 제안된 기존의 프로토콜을 살펴보고 이들의 문제점에 대해 기술한다. 3절에서는 본 연구에서 제안하고 있는 방법을 자세히 살펴보고, 4절에서는 기존의 방식과 본 논문에서 제안하는 방식을 수학적 방식으로 비교분석한다. 5절에서는 시뮬레이션을 통한 성능 분석을 하였으며 마지막으로 6절에서는 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 interest

로 표현되어 싱크 노드에서 시작되어 네트워크 전체에 유포된다. 그러므로 전체 센서 네트워크로부터 데이터를 수집하는 경우에는 데이터 전송에 참여하는 센서 노드의 수가 증가하게 되어 에너지 소비를 유발하게 된다. 따라서 큰 규모의 센서 네트워크에는 적합하지 않으며, 다수의 이동 싱크노드가 존재하는 경우 이들의 잦은 위치 업데이트로 인한 통신의 오버헤드가 발생하게 된다.

이에 반해 계층적 라우팅 프로토콜인 LEACH[4]와 HEED[5]의 경우는 클러스터를 구성하고 각 클러스터 헤더로 하여금 클러스터 내부에 수집된 정보를 통합, 관리하여 싱크 노드로 전달하도록 한다. 따라서 평면 기반 라우팅 프로토콜에 반해서 적은 데이터 전송으로 사용하는 패킷의 양을 줄일 수 있다. 그렇지만 주기적으로 클러스터를 재구성하고 라우팅 테이블을 갱신하는 것으로 인하여 부분적으로 싱크 노드가 이동하는 경우 이동성을 지원할 수 있으나 완전하게 이동성을 제공하는 것은 아니다.

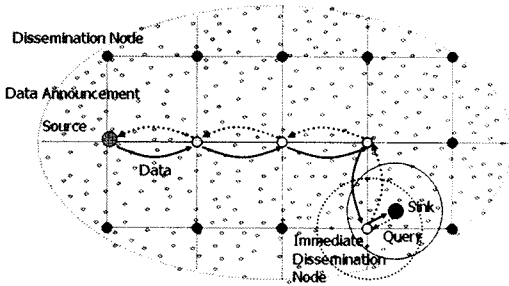


그림 1 TTDD 기본 동작

이러한 문제점을 해결하기 위해서 제안된 프로토콜이 Two-Tier Data Dissemination approach: TTDD이다 [1]. 그림 1은 TTDD의 동작 과정을 설명한 것으로 관심 사건이 발생하면 소스 노드에서 싱크 노드에게 데이터를 전송하기 위해서 소스 노드가 능동적으로 그리드를 만든다. 각 그리드의 교차점에는 회송정보를 가지고 있는 DN(Dissemination Node)가 존재하여 [2]에서와 달리 모든 노드가 회송 정보를 가지는 대신에 DN만이 회송 정보를 가지고 있으므로 싱크 노드의 이동에 따라 업데이트가 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 기술한바와 같이 TTDD는 소스 노드가 동시 다발적으로 생성되는 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[6-8], 평면 라우팅 프로토콜에서 발생하는 데이터 전송에 따른 오버헤드를 줄이기 위해서 계층적 클러스터 구조를 사용하여 클러스터 헤더 중심으로 데이터를 전송함으로써 전송에 참여하는 노드의 수를 줄이고자 하였다[9,10]. 또한 격자 방식의 포워딩 [11]을 사용하여 간단한 라우팅을 제공하였다.

3. 무선 센서 네트워크에서 효율적인 계층적 데이터 보급방안

본 연구에서는 이동 싱크노드의 문제에 따른 잦은 업데이트 문제를 해결하기 위해서 평면 구조가 아닌 2계층 고정 그리드기반[8,12]의 클러스터구조를 이용하여 전송에 필요한 패킷의 수와 TTDD에서 발생하는 그리드 구성과 유지에 따른 통신 오버헤드를 줄이고자 하였다. 그리고 1계층 클러스터 안에서는 단일 홉 모드로 동작하고 2계층 안에서는 멀티 홉 모드로 동작함으로써 이동 싱크노드로 인한 경로 재설정이나 라우팅에 사용되는 패킷의 수를 줄이고자 하였다. 본 연구는 다음의 가정을 기반으로 설명한다.

- 각 센서 노드들은 이동성이 없다.
- 각 센서 노드는 GPS나 수동적인 방법으로 자신의 위치를 알고 있다.
- 각 센서 노드는 자신의 가용 에너지를 알고 있다.
- 다수의 이동 싱크 노드가 센서 네트워크에 존재한다.
- 1계층 클러스터 안에서 패킷 전송은 단일 홉 모드를 사용한다.
- 2계층 클러스터 안에서 노드와 헤더사이 또는 2계층 클러스터 헤더끼리의 패킷 전송은 멀티 홉 모드를 사용한다.

3.1 그리드 기반의 클러스터 구성

본 연구에서는 TTDD가 가지고 있는 그리드 형성과 유지에 따른 오버헤드를 줄이기 위해서 고정 그리드 구조를 사용한다. 또한 센서 네트워크의 효율성을 높이기 위해서 2계층 고정 그리드구조의 클러스터를 구성하였다. 클러스터의 헤더 선정은 HEED[4]에서 사용한 방법을 이용한다.

그림 2는 1계층 그리드를 형성하고 있는 과정이다. 전체 센서필드를 그리드 사이즈(α)로 나눈 다음 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 아이디를 부여 받는다. 센서 노드가 센서 필드에 전개되면 각 센서 노드는 자신의 그리드 아이디를 가지게 되고 그 값을 저장한다. 고정 그리드를 사용하므로 각 그리드 아이디는 바뀌지 않으며, 각 그리드는 클러스터로 간주된

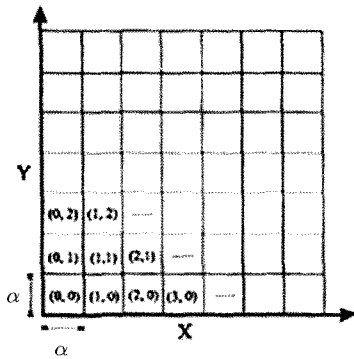


그림 2 1계층 그리드기반 클러스터 형성

다. 1계층 클러스터 크기는 헤더에서 클러스터 안의 모든 노드로 단일 홉을 사용하여 패킷을 전송할 수 있는 거리이다. 따라서 1계층 클러스터 안에서의 모든 패킷의 전송은 중간 노드의 사용 없이 단일 홉으로 이루어진다.

그림 3은 2계층 그리드 형성과정을 설명하고 있으며, 1계층 그리드 4개를 통합하여 하나의 2계층 그리드를 만든다. 또한 2계층 클러스터 안의 패킷 전송은 모든 노드가 클러스터 헤더에서 단일 홉으로 전송 가능한 위치에 있지 않기 때문에 멀티 홉을 사용한다.

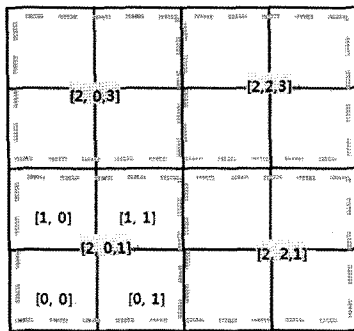


그림 3 2계층 그리드기반 클러스터 형성

2계층 그리드의 아이디는 다음 수식에서 나타내는 방식으로 각 2계층의 그리드에 부여한다.

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

3.2 데이터 공고 및 쿼리 전송

센서 네트워크에서 간단한 라우팅 방식을 제공하기 위해서 본 연구에서는 격자 방식의 포워딩[7]을 사용한다. 기존의 계층적 라우팅 프로토콜이 트리 구조를 사용하는 대신에 본 연구에서 제안한 방식은 격자 방식의 포워딩을 사용하여 교차점을 통한 소스 노드와 싱크 노드사이의 경로를 설정하도록 하였다.

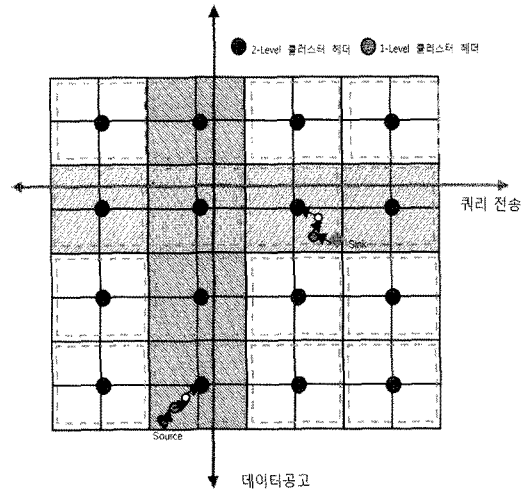


그림 4 데이터 공고 및 요구 쿼리 전송

그림 4는 격자 방식의 포워딩을 사용한 교차점을 설정하기 위한 과정으로 데이터 공고와 요구 쿼리 전송단계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 것과 같이 센서 노드가 관심 사건을 발견하면 이를 제일 먼저 감지한 센서 노드는 소스 노드가 된다. 소스 노드는 데이터 공고패킷을 형성하여 자신의 지역 클러스터의 헤더인 1계층 클러스터 헤더에게 단일 홉 모드로 패킷을 전송하고 이를 받은 지역 클러스터 헤더는 자신이 속한 2계층 클러스터의 헤더에게 멀티 홉 모드로 패킷을 전송한다.

그런 다음 패킷을 전송 받은 2계층 클러스터의 헤더는 그림 4와 같이 자신의 세로축에 위치한 다른 2계층 클러스터의 헤더에게 데이터 공고패킷을 멀티 홉 모드로 전송하고 이를 받은 클러스터 헤더들은 자신의 캐쉬에 데이터 공고패킷을 저장하여 이후 경로 설정시에 사용하도록 한다.

이 방식과 유사하게 싱크 노드가 데이터를 필요로 할 경우 요구 쿼리를 지역 클러스터 헤더인 1계층 클러스터의 헤더에게 단일 홉 모드로 전달을 한다. 이를 받은 헤더는 그림 4와 같이 멀티 홉 모드를 이용하여 자신의 2계층 클러스터의 헤더에게 요구 쿼리를 전송하고 이들 받은 클러스터 헤더는 자신의 가로축에 위치한 다른 2계층의 클러스터 헤더들에게 요구 쿼리를 멀티 홉 모드로 전송한다.

이러한 격자 방식의 포워딩을 통해서 생성된 교차점들은 이미 소스 노드와 싱크 노드간의 경로 정보를 가지고 있으므로 이를 통해 소스 노드와 싱크 노드간의 경로가 설정된다. 따라서 계층적 구조를 사용하지만 별도의 트리 구조를 형성할 필요 없이 간단한 방식을 통해 소스 노드와 싱크 노드간의 경로를 설정할 수 있다.

3.3 데이터 전송

앞서 설명한 데이터 공고와 요구 쿼리 전송과정을 통해 생성된 교차점을 통해서 소스 노드와 싱크 노드 사이의 데이터 전송이 이루어진다. 그림 5에서 설명하는 것과 같이 싱크 노드가 데이터를 필요로 하면 요구 쿼리 전송과정을 통해 좌우로 요구 쿼리를 전송한다.

쿼리 전송도중에 데이터 공고 과정을 통해 소스 노드에 대한 정보를 가지고 있는 2계층 클러스터의 헤더를 만난다면 이 클러스터 헤더가 격자 방식의 포워딩에 의한 교차점이 된다. 이 클러스터 헤더가 가지고 있는 포워딩 정보를 통해서 소스 노드까지의 경로를 알 수 있으므로 요구 쿼리를 소스 노드가 존재하는 2계층 클러스터의 헤더에게 전달한다. 요구 쿼리를 전달 받은 2계층 클러스터의 헤더는 소스 노드가 존재하는 1계층 클러스터의 헤더에게 멀티 홉 모드로 요구 쿼리를 전달하고 이를 받은 1계층 클러스터의 헤더는 단일 홉 모드로 소스 노드에게 전달한다. 소스 노드는 데이터를 생성하고 이를 역 경로를 사용하여 싱크 노드까지 전달한다.

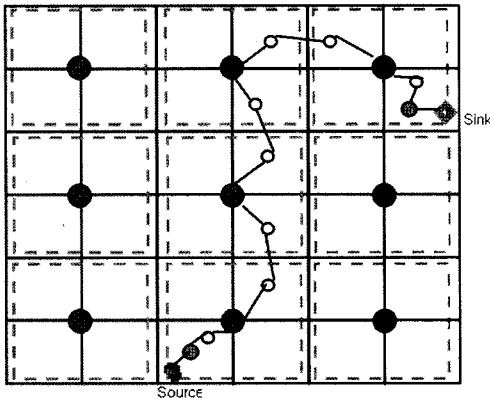


그림 5 데이터 전송

3.4 경로 유지

센서 네트워크에 이동 싱크노드가 존재할 때, 소스 노드에서 싱크 노드로 데이터 전송하는 도중에 싱크 노드가 이동하여 경로가 단절되어 데이터 전송이 실패하는 경우가 발생하게 된다. 따라서 이동 싱크 노드가 존재하는 센서 네트워크에서는 데이터 전송 경로의 변화에 대응하여 경로를 유지 할 수 있어야 한다. 그러나 싱크 노드 이동성에 따른 경로 재설정시 이를 위한 제어 패킷의 수가 싱크 노드가 정적인 경우에 비해 많을 뿐만 아니라 이에 따른 오버헤드도 존재한다. 그러므로 본 연구에서는 제어 패킷의 수를 줄이기 위해 그리드 기반 클러스터 안의 전송 모드를 단일 홉과 멀티 홉 두 종류를 사용함으로써 불필요한 패킷의 수를 줄이고자 하였다.

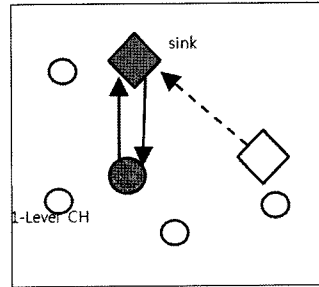


그림 6 1계층 클러스터 안에서 싱크 노다이동

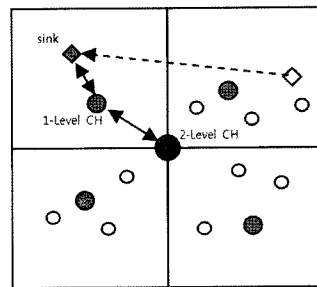


그림 7 2계층 클러스터 안에서 싱크 노다이동

그림 6에서 설명하고 있는 것과 같이 1계층 클러스터는 단일 홉 모드로 패킷을 전송하여 중간에 패킷을 전송하는 노드 없이 클러스터 헤더와 싱크 노드 또는 소스 노드간의 직접 전송이 가능하도록 하였다. 따라서 싱크 노드가 같은 1계층 클러스터 안에서 이동할 경우, 이동에 따른 위치의 변화를 2계층 클러스터의 헤더에게 알릴 필요없이 1계층 클러스터의 헤더에게만 알림으로써 불필요한 패킷의 수를 줄이고 또한 패킷 전송에 필요한 중간 노드가 존재하지 않으므로 제어 패킷의 수를 줄일 수 있다.

그림 7은 싱크 노드가 다른 지역 클러스터로 이동할 경우를 설명하고 있다. 싱크 노드가 자신이 이동함을 1계층 클러스터 헤더에게 알렸을 경우 1계층 클러스터 헤더가 자신이 속한 그리드 아이디와 싱크노드의 그리드 아이디가 다름을 알고 이를 2계층 클러스터 헤더에게 알린다. 이를 받은 2계층 클러스터헤더는 새로운 경로를 찾기 위해 다시 요구 쿼리를 전송하는 대신에 자신이 가진 정보를 업데이트함으로써 싱크 노드로의 경로를 재설정한다. 그러나 2계층 클러스터 헤더는 1계층 클러스터 헤더와 달리 먼 거리에 존재하므로 단일 홉 모드가 아닌 멀티 홉 모드를 사용하여 싱크 노드 위치를 업데이트한다.

4. 통신 비용분석

본 절에서는 본 논문에서 제안하는 방식의 통신비용

을 수학적으로 분석하였다. 분석을 위하여 분석 모델을 정의하고 제안하는 방식의 성능을 나타내기 위해서 기존 제안된 TTDD와 성능을 비교하였다. 분석한 통신비용은 통신 시 사용한 최대 패킷의 수를 의미한다. 그림 8은 사용된 분석 모델[1]을 설명한 것으로 센서필드의 넓이가 A이며 한 변에 길이가 α 인 센서 필드에 N개의 센서 노드가 뿌려진 센서 네트워크이다. 이러한 센서 네트워크에서 각 사이드에서 존재할 수 있는 센서 노드의 수는 \sqrt{N} 이다. 각 그리드는 $\alpha \times \alpha$ 인 사각형으로 이루어져 있으며, α 는 그리드의 크기이고 이 크기는 센서 네트워크의 특징에 따라 변할 수 있다. 따라서 한 그리드에 존재하는 센서 노드의 양은 약 $n = \frac{N\alpha^2}{A}$ 이다. 플러딩(flooding)을 할 때 사용하는 패킷의 수는 전체 센서 노드의 수와 비례하며 다음과 같이 분석 모델을 정의한다.

- 센서 네트워크에는 k개의 이동 싱크노드가 존재한다.
- 싱크 노드는 v속도로 m개의 그리드를 지나며 d개의 데이터 패킷을 받는다.
- 싱크 노드가 한 그리드에서 받을 수 있는 데이터의 양은 d/m개이다.
- 모든 제어 패킷의 수는 ℓ 이며 크기는 모두 1이다.
- 센서 노드와 센서 노드사이의 거리 상수는 c라고 하고 다음과 같이 정의한다.
 - c는 하나의 그리드 또는 전체 센서네트워크에서 두 노드 사이의 거리가 가장 가깝다고 하더라도 겹치지 않고 가장 멀리 있는 경우가 대각선의 직선거리가 되므로 기본 거리 단위를 1로 했을 경우 두 센서 노드사이의 거리는 0보다는 크고 최대 $\sqrt{2}$ 까지이다.

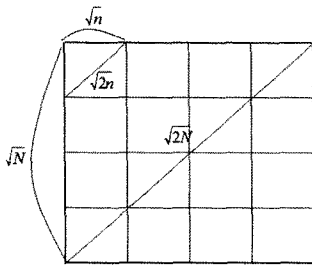


그림 8 분석 모델

4.1 데이터 공고 및 요구 쿼리

A. 데이터 공고

제안된 프로토콜은 센서 노드가 관심 사건을 발견하면 데이터 공고 패킷을 1계층 클러스터의 헤더에게 단일 홉 모드로 전송한다. 이를 받은 1계층 클러스터의 헤더는 2계층 클러스터의 헤더에게 멀티 홉 모드로 전송

하게 되는데 이때 이들 헤더 간의 최대 직선거리는 $2\sqrt{2n}$ 이 된다. 그리고 이 패킷을 받은 2계층 클러스터의 헤더는 자신의 세로축에 위치한 다른 2계층 클러스터의 헤더에게 전달한다. 그러므로 데이터공고에 사용되는 패킷 수 N_{AP} 는 다음과 같다.

$$N_{AP} = \ell + 2c\sqrt{n}\ell + \sqrt{N}\ell$$

B. 요구 쿼리 전송

싱크 노드가 데이터를 필요로 할 경우 자신의 1계층 클러스터의 헤더에게 단일 홉 모드로 요구 쿼리를 전송한다. 이를 받은 헤더는 쿼리 패킷을 멀티 홉 모드로 자신의 2계층 클러스터의 헤더 전송하고 이 헤더는 자신의 가로축에 위치한 2계층 클러스터의 헤더로 요구 쿼리를 전송한다. 전송 도중에 데이터 공고 과정을 통해 소스 노드의 위치를 알고 있는 교차 지점의 2계층 클러스터 헤더를 만나면 이 헤더가 가지고 있는 경로를 통해서 소스 노드가 속한 2계층 클러스터헤더로 쿼리를 전송한다. 이때 싱크 노드와 소스 노드가 속한 2계층 클러스터 헤더간의 최대직선 거리는 $\sqrt{2N}$ 이다. 그리고 이 쿼리 패킷을 받은 2계층 클러스터 헤더는 1계층 클러스터 헤더를 통해 소스 노드로 패킷을 전달한다. 따라서 요구 쿼리 전송시 사용되는 패킷 수 N_{QP} 는 다음과 같다.

$$N_{QP} = 2\ell + 2c\sqrt{n}\ell + \sqrt{2c}\sqrt{N}\ell$$

C. 데이터 전송

싱크 노드로부터 요구 쿼리를 전송 받은 소스 노드는 데이터를 생성한 후 역경로를 사용하여 싱크 노드까지 전달하게 된다. 앞서 설명한 것과 같이 하나의 싱크 노드가 한 그리드에서 받을 수 있는 데이터의 양을 d/m이라고 했을 때, 소스 노드에서 싱크 노드까지 역 경로를 사용하여 데이터를 전송할 때 사용되는 패킷의 수인 N_{DP} 는 다음과 같다.

$$N_{DP} = (2 + 2c\sqrt{n}\ell + \sqrt{2c}\sqrt{N}\ell) \frac{d}{m}$$

4.2 TTDD 통신비용

TTDD에서는 관심 사건이 발생하면 그리드 구조를 형성해야 한다. 이를 위해 모든 센서 노드에게 먼저 플러딩하는데 패킷 수는 전체 센서 네트워크의 수와 비례하므로 $N\ell$ 이다. 그리고 그리드의 교차점노드(Dissemination Node_DN)에게 공고 패킷을 보낸다. 따라서 데이터 공고 시 사용되는 패킷의 수인 N_{AP} 는 다음과 같다.

$$N_{AP} = \frac{4N}{\sqrt{n}}\ell + N\ell$$

싱크 노드에서 데이터를 필요로 할 경우 쿼리 패킷을 인접 중계 노드에게 보내고 이를 위해 지역적 플러딩을 한다. 인접 중계 노드는 이 패킷을 교차점 노드를 통해서 소스 노드까지 전달한다. 이때 사용되는 쿼리 전송에

사용되는 패킷 수(N_{QP})는 다음과 같다.

$$N_{QP} = nl + \sqrt{2}c\sqrt{N}\ell$$

데이터 전송의 경우, 소스 노드가 싱크 노드로부터 데이터 요청의 쿼리 패킷을 받으면 데이터를 역 경로를 통해서 싱크 노드까지 전달하게 된다. 즉 소스 노드가 데이터를 요청 받으면 싱크 노드가 위치한 교차점 노드까지 데이터를 전송한다. 이 경우 사용되는 패킷의 수(N_{DP})는 다음과 같다.

$$N_{DP} = (c\sqrt{n} + \sqrt{2}c\sqrt{N})\frac{d}{m}$$

4.3 전체 통신비용

총 통신비용은 k개의 싱크 노드가 m개의 그리드를 지나는 경우이다. 다음은 제안된 방식의 총 통신비용(N_{total})을 수학적으로 나타낸 것이다.

$$N_{total} = 3kml + 2kd + 2kcl(2m + d)\sqrt{n} + k\ell(m + \sqrt{2}mc + \sqrt{2}dc)\sqrt{N}$$

TTDD의 총 통신비용인 N_{ttdd} 은 다음과 같다.

$$N_{ttdd} = \frac{4N}{\sqrt{n}}\ell + N\ell + kmn\ell + \sqrt{2}kc(ml + d)\sqrt{N} + kdc\sqrt{n}$$

위에서 분석한 수식을 기본으로 센서 필드 $A=2000m \times 2000m$ 이고 이동 싱크의 수가 4인 센서 네트워크에서 그리드 사이즈 $\alpha=20$, $c=1, \ell=1, d=100$ 이라고 가정하고 노드의 센서 노드를 100부터 1000까지 변화 시켰을 때 패킷의 수를 알아보았다.

그림 9에서 설명하는 것과 같이 제안된 프로토콜의 사용된 패킷의 수가 TTDD에서 사용된 패킷의 수에 비하여 센서 노드수가 증가 하더라도 적어짐을 알 수 있다. 또한 센서 노드가 많아질수록 두 프로토콜의 통신비용의 차이가 증가함을 알 수 있다. 따라서 제안된 방법이 센서 노드가 많은 조밀한 센서 네트워크에서 TTDD 보다 통신량이 적어짐을 알 수 있다.

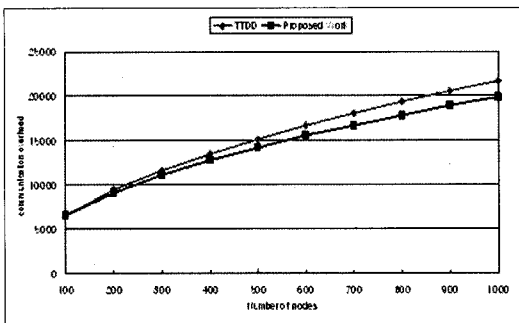


그림 9 통신 비용분석

5. 성능 분석

본 절에는 시뮬레이션을 사용하여 본 논문에서 제안

하고 있는 방법의 성능을 분석을 하였다. 먼저 시뮬레이션 모델을 설명하고 싱크 노드와 소스 노드수를 달리 했을 경우에 따른 성능을 분석하였다.

5.1 시뮬레이션 모델

시뮬레이션을 위한 센서 필드의 크기는 $2000m \times 2000m$ 이며 센서 노드 안에 전개된 센서 노드의 개수는 200개이다. 센서 노드가 패킷을 전송할 때 사용되는 에너지와 패킷을 수신할 때 사용하는 에너지는 각각 0.66W, 0.395W의 에너지가 소모된다. 소스 노드의 개수와 싱크 노드의 개수는 1개부터 8개로 설정하며 그리드 사이즈는 20m으로 설정한다. 시뮬레이션은 각각 5개의 랜덤 네트워크 토폴로지에서 수행하여 평균을 냈다.

5.2 소스 노드개수에 따른 성능 분석

본 시뮬레이션에서는 소스 노드의 수를 변화시키면서 TTDD와 1계층 클러스터 구조와 2계층 클러스터 구조인 경우에 따른 성능을 비교 분석하였다. 싱크 노드는 4개로 고정시키고, 소스 노드의 수를 1~8까지 변화 시켰다. 그림 10은 소스 노드의 개수에 따른 통신에 소비된 에너지를 보여 주고 있다. 시뮬레이션 결과는 제안된 방법이 TTDD에 비해서 약 3배의 에너지가 절감됨을 보여 준다. 이는 TTDD가 소스 노드의 수에 비례해서 그리드 구조를 생성해야 하고 또한 각 소스 노드와 각 싱크 노드 사이의 경로를 유지하기 위해서 주기적으로 업데이트 패킷을 전송하기 때문이다. 이에 반해 제안된 방식은 소스 노드의 수와 상관없이 하나의 그리드만 생성하게 된다. 또한 1계층의 클러스터 구조에 비해서 2계층의 클러스터 구조를 사용함으로써 약 2배 정도의 에너지가 절감됨을 알 수 있다. 이것은 클러스터 수가 줄어들 때 따라 데이터 전송에 참여하는 노드의 수가 줄어들기 때문이다.

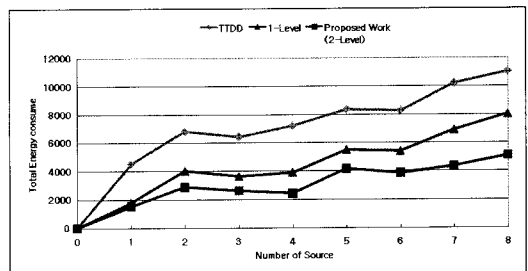


그림 10 소스 노드에 따른 에너지 소비

5.3 싱크 노드 개수에 따른 성능 평가

본 시뮬레이션에서는 싱크 노드의 수를 변화시키면서 TTDD와 1계층 클러스터구조와 2계층 클러스터구조인 경우 성능을 비교 분석하였다. 소스 노드의 수를 2로 고정하고 싱크 노드의 수를 1~8까지 변화시킨다.

그 결과 그림 11에서 보여 주듯이 싱크 노드 수가 2개 일 때는 제안된 프로토콜이 TTDD에 비해서 약 2배의 에너지 절감을 가져 온 것을 알 수 있다. 그러나 싱크 노드 수가 8일 때는 약 3배의 에너지 절감을 보이고 있음에 따라 싱크 노드수가 많아질수록 처음에 비해서 차이가 늘어남을 알 수 있다. 따라서 제안된 프로토콜은 TTDD보다는 싱크 노드수가 많은 응용 분야에 더 효율적임을 알 수 있다. 또한 계층적 라우팅 프로토콜을 사용 하더라도 2계층 구조를 사용하는 것이 1계층 구조에 비해 이동 싱크 노드가 존재하는 센서 네트워크에서 보다 효율적임을 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있다.

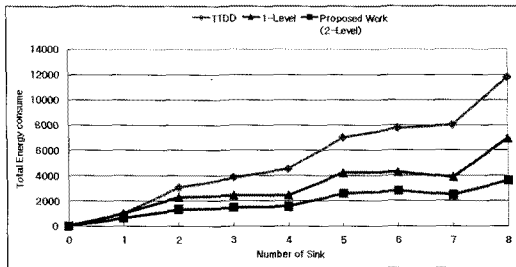


그림 11 싱크 노드 수에 따른 에너지 소비

5.4 sink node의 속도에 따른 성능 평가

본 시뮬레이션에서는 싱크 노드의 속도를 변화 시키면서 TTDD와 제안된 방식의 성능을 비교 분석하였다. 소스노드와 싱크노드의 수 각각 2개와 4개로 고정시켰다. 싱크 노드의 속도를 5m/s에서 30m/s로 변화시켰다. 그림 12에서 보는 바 같이 제안된 방식에 비해 TTDD의 통신량이 많음을 알 수 있다. 이는 TTDD이 소스 노드와 싱크 노드 사이의 경로를 유지하기 위해서 계속적인 제어패킷을 전송해야 하기 때문에 싱크노드의 속도가 빨라지면 그만큼 더 많은 제어패킷을 네트워크에 전송해야한다. 시뮬레이션 결과 제안된 방식이 TTDD에 비해서 싱크 노드의 속도에 영향을 덜 받는다는 것을 알 수 있다.

6. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 기존의 제안되었던 계층적 라우팅 프로토콜에서 싱크 노드가 이동함으로써 데이터 전송 및 경로가 단절되는 것을 보완하기 위해서 싱크 노드의 이동에 따른 데이터 전송 경로의 변화에 대응 할 수 있는 방안을 제시하고 결과적으로 센서 네트워크에 이동 싱크노드가 존재 하더라도 효과적으로 데이터를 전송 할 수 있는 방안에 대해서 제안하였다.

제안한 방식에서는 2계층의 계층적 라우팅 프로토콜을 사용하였으며, 싱크 노드의 이동에 대응하고, 경로

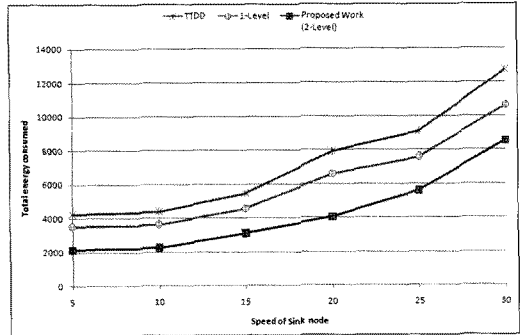


그림 12 싱크 노드의 속도에 따른 에너지 소비

제설정 및 라우팅에 사용하는 패킷의 수를 감소하기 위해 계층에 따라 단일 홉과 멀티 홉 모드를 달리 사용하였다. 또한 간단한 라우팅 방식을 제공하기 위해서 격자 방식의 포워딩을 사용하여 교차점을 형성하여 이를 이용한 라우팅 방식을 사용하였다. 즉 소스 노드가 관심 사건을 발견하면 데이터 공고는 소스 노드의 세로축에 존재하는 클러스터 헤더에게 데이터 공고 패킷을 전송하고 싱크 노드의 데이터 요청을 위한 쿼리 전송은 싱크 노드의 가로축에 위치한 클러스터 헤더에게 전달함으로써 모든 센서 노드가 전송 정보를 가지게 하는 대신 이 두 패킷의 교차점에 위치한 특정 클러스터 헤더만 전송 정보를 가지게 함으로써 데이터 전송에 참여하는 노드수를 줄이고자 하였다.

이러한 제안된 방식을 수학적 비교 분석을 통해서 제안된 프로토콜이 기존에 제안된 TTDD보다 센서 노드의 수가 많을수록 보다 효율적임을 알 수 있었다. 또한 시뮬레이션을 통해서 TTDD에 비해서 2~3배 정도의 에너지 효율적임을 알 수 있었으며 1계층 클러스터 구조보다는 2계층 클러스터구조를 사용함으로써 다수의 이동 싱크노드가 존재하는 센서 네트워크에서도 더 나은 에너지 효율성을 보임을 알 수 있었다.

향후에는 다양한 센서 노드로부터 데이터를 전송받는 경우 이를 효율적으로 응용 프로그램에 사용하기 위한 데이터 통합 방안에 대해 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] Haiyun Luo, Fan Ye, Jerry Cheng, Songwu Lu, Lixia Zhang, "TTDD: two-tier data dissemination in large-scale wireless sensor networks," MOBI-COM 2002, pp. 148-159, 2002.
 [2] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," MOBI-COM 2000, pp. 56-67, March 2000.
 [3] Vivek Mhatre, Catherine Rosenberg, "Design Guide-

lines for Wireless Sensor Networks: Communication, Clustering and Aggregation," Ad hoc networks journal, Elsevier Science, Vol.2, pp. 45-63, 2004.

- [4] Wendi Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, Vol.2, Page(s):10, January 2000.
- [5] Ossama Younis and Sonia Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach" IEEE Infocom, pp 629-640, March 2004.
- [6] Wen-Hwa Liao and Jang-Ping Sheu and Yu-Chee Tseng. GRID: A Fully Location-Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," In Telecommunication Systems, Vol.18, pp. 37-60, 2001.
- [7] Guoliang Xing, Chenyang Lu, Robert Pless, Joseph A. O'Sullivan, "Co-Grid: an efficient coverage maintenance protocol for distributed sensor networks, Proceedings of the third international symposium on Information processing in sensor networks, pp. 414-423, April 2004.
- [8] Harshavardhan Sabineni, Krishnendu Chakrabarty, "Location-Aided Flooding: An Energy-Efficient Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on Computers, pp. 36-46, 2005.
- [9] Jieun Cho, Jongwon Choe, "A Cluster - Based Routing Protocol for Supporting Mobile Sinks in Sensor Network," ICOIN 2008, Page(s):1-5, January 2008.
- [10] JANE Y. YU AND PETER H. J. CHONG, "A SURVEY OF CLUSTERING SCHEMES FOR MOBILE AD HOC NETWORKS," IEEE Communications Surveys & Tutorials · First Quarter 2005, Vol.7, pp. 32-48, 2005.
- [11] D. Niculescu, B. Nath, "Trajectory based forwarding and its applications," MOBICOM 2003, pp. 260-272, 2003.
- [12] Rui Zhang ,Hang Zhao, Miguel A. Labrador, "A Grid-based Sink Location Service for Large-scale Wireless Sensor Networks," IWCMC 2006, pp. 689-694, 2006.



최 종 원

1984년 서울대학교 컴퓨터공학(학사). 1986년 서울대학교 컴퓨터공학(석사). 1992년 노스웨스턴대학교 컴퓨터공학(박사). 1993년~현재 숙명여자대학교 정보과학부 교수, 관심분야는 라우팅, 멀티캐스트, 이동통신, 센서 네트워크, 미래 인터넷 등



조 지 은

1999년 목포대학교 컴퓨터학과(학사) 2002년 숙명여자대학교 컴퓨터학과(석사). 2005년~현재 숙명여자대학교 컴퓨터학과 박사과정. 관심분야는 애드 혹 네트워크, 센서 네트워크 등