

센서 네트워크에서 모바일 싱크를 위한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜

(An Energy-Efficient Routing Protocol for Mobile Sinks in Sensor Network)

조 지 은 [†] 최 종 원 ^{**}
(Jieun Cho) (Jongwon Choe)

요 약 센서 네트워크에서 센서 노드를 디자인할 때 중요한 고려사항 중 하나가 제한된 자원을 가진 센서 네트워크에서 주어진 에너지 소모를 최소화 하여서 네트워크 수명을 연장하는 것이다. 이를 위해서 지금까지 많은 연구들이 되어 오고 있다. 그중 센서 네트워크에서 다수의 모바일 싱크를 지원하기 위한 프로토콜로 TTDD(Two-Tier Data Dissemination approach)가 제안되었지만 그리드 구조형성과 유지를 위한 제어 패킷이 증가하는 문제를 발생시켰다. 그러므로 본 논문에서는 센서네트워크에서 여러 개의 모바일 싱크와 다수의 소스가 존재하는 네트워크에서 고정 그리드를 이용하여 사용한 패킷의 양을 줄임으로써 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다.

키워드 : 센서 네트워크, 모바일 싱크

Abstract When we design a sensor nodes, an energy-consumption of sensor nodes centers on design concerns to prolong lifetime of sensor network. In recent year, many researches have attempted to study this issue. One of that is TTDD(Two-Tier Data Dissemination approach) proposed to support a sensor network

· 본 연구는 숙명여자대학교 2006학년도 교내 연구비 지원에 의해 수행됨
· 이 논문은 제34회 추계학술대회에서 '센서 네트워크에서 모바일 싱크를 위한 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

[†] 학생회원 : 숙명여자대학교 컴퓨터과학과
jieun@sookmyung.ac.kr

^{**} 정 회 원 : 숙명여자대학교 컴퓨터과학과 교수
choejn@sookmyung.ac.kr

논문접수 : 2007년 12월 6일

심사완료 : 2008년 4월 24일

Copyright©2008 한국정보과학회: 개인 목적이거나 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: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제14권 제5호(2008.7)

which includes several mobile sensor nodes. But it gives rise to a problem which increasing control packet for the formation and maintenance a grid structure. Therefore, we proposed a Energy-Efficient Routing Protocol used a permanent grid structure for reducing control packets in a sensor network.

Key words : sensor network, mobile sink, WSN

1. 서 론

최근 유비쿼터스로 인하여 센서 네트워크가 그 핵심으로 부각되고 있으며 네트워크는 군대, 가정, 산업 등 다양한 분야에서 정보를 수집하고 처리하기 위해서 널리 사용되고 있다. 이렇듯 다양하게 사용되는 센서네트워크는 센서 노드들이 배치된 센서 필드(sensor filed)와 싱크로 구성되어 각 센서 노드들은 주변의 어떠한 현상을 인식, 측정하며, 싱크노드는 이렇게 측정된 데이터를 수집하는 역할을 한다. 이들 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드의 설계 시 몇 가지 고려해야 하는 사항이 있다. 그 중 가장 중요한 것이 에너지 소모를 최소화하는 것이다. 센서노드는 저 전력을 소모하도록 설계되어 있다. 그러나 일반적으로 센서 노드는 한번 전개 후에는 다시 전력을 공급 받지 못하므로 에너지를 효율적으로 사용하여 최대한 센서 노드의 수명을 길게 해야 한다. 이렇게 제한된 에너지를 가지는 센서노드의 에너지 소모를 최소화하여 네트워크의 수명을 연장하고자하는 연구가 센서네트워크의 중요한 이슈중 하나이다. 현재 센서 네트워크에서는 다양한 라우팅 프로토콜이 제안되었으며, 이러한 프로토콜에는 Directed Diffusion[1], GRAB[2] 등이 있다. 그러나 이들 프로토콜은 기본적으로 고정된 위치에서 정보를 수집하는 센서 노드를 바탕으로 연구되었고, 여러 개의 모바일 싱크를 가진 큰 규모의 센서 네트워크에서는 효율적이지 않다. 이러한 모바일 싱크문제를 해결하기 위해서 TTDD(Two-Tier Data Dissemination approach)[3]가 제안되었다. 그러나 이 프로토콜은 센서 노드에서 현상을 발견할 때마다 그리드 구조를 만들게 됨으로써 그에 따른 제어 패킷의 수의 증가한다는 문제점이 발생하게 되었다. 따라서 본 논문에서는 기존에 제안된 여러 프로토콜의 문제점을 살펴보고 그들이 가지는 문제점을 해결하는 방안을 연구하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존에 제안된 프로토콜을 살펴보고 3절에서는 제안된 프로토콜을 설명하고 4절에서는 기존의 프로토콜과 본 논문에서 제안 하는 라우팅 프로토콜의 통신비용을 분석 하여 비교 한다. 5절에서는 결론 및 향후 과제에 대해서 살펴본다.

2. 관련 연구

기존에 연구된 프로토콜은 여러 개의 모바일 싱크노드를 가지게 되면 전송되는 잦은 위치 업데이트로 인해 센서 노드들의 배터리를 소모하고 통신 채널의 많은 대역폭을 소비하게 되며, 그로 인해 센서 네트워크의 수명이 짧아지게 된다. 이러한 모바일 싱크 노드 문제점을 해결하기 위한 방식으로 TTDD[3]가 제안되었다. 이 방식은 모든 센서 노드들이 싱크 노드에게 데이터를 전송하기 위해서 전송 정보를 가지고 있는 것이 아니라 센서 노드가 관심 현상을 감지하게 되면 이 정보를 싱크 노드에 전송하기 위해서 센터 필드에 그리드를 형성하게 된다. 이들 각 그리드의 교차점에서 가장 가깝게 위치한 센서 노드들을 전송노드(dissemination node)라고 하고 이들만이 전송 정보를 가지게 된다. 그러나 이 방식은 소스가 되는 센서 노드가 현상을 발견 할 때 마다 그리드를 형성해야 하므로 만약 관심사건이 여러 곳에서 다발적으로 발생한다면 그때마다 그리드를 형성하기 위해서 제어 패킷을 생성되며 이것은 전체 네트워크에 플러딩(flooding)하는 패킷의 수와 비슷하게 되므로 에너지 효율적인 라우팅에 적합하지 않다. 이러한 TTDD의 문제점을 해결하기 위해 CBPER(Cluster-Based Power-Efficient Routing Protocol)[4]이 제안되었지만 이 프로토콜은 센서가 전체 센서 필드에 골고루 배치가 되었을 경우에만 가능하다. 만약 그림 1과 같이 보이드(void) 그리드가 발생했을 경우 더 이상 패킷 포워딩을 할 수 없게 된다. 또한 모든 클러스터에 센서 노드가 고르게 배치되지 않으면 시간이 흐른 뒤에는 보이드 그리드가 형성되게 된다. 결과적으로는 보이드 그리드로 인하여 전체 센서 네트워크의 통신이 중단되게 된다[5,6].

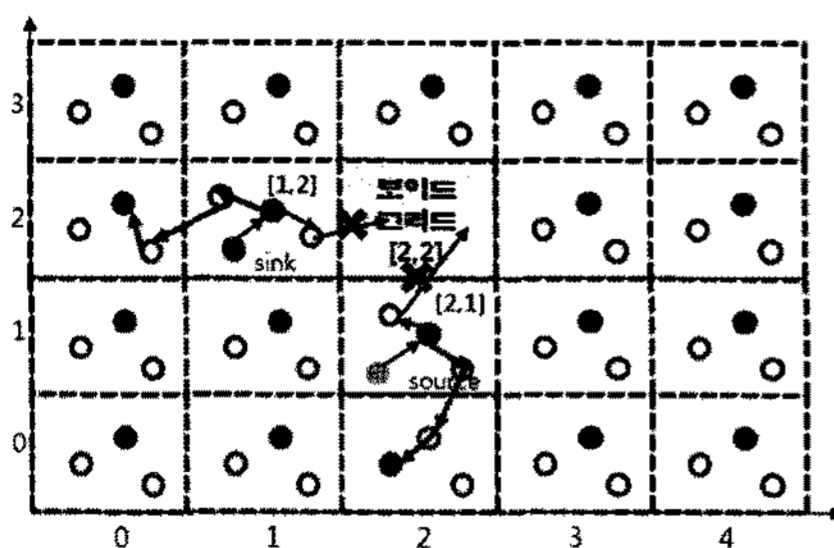


그림 1 보이드 그리드 발생

본 논문에서는 앞서 제안된 프로토콜의 문제점을 해결하고 여러 개의 모바일 싱크를 가진 센서네트워크에서 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜을 제안한다.

3. 센서 네트워크에서 모바일 싱크를 위한 라우팅 프로토콜

3.1 클러스터 구성

전체 네트워크를 가상 그리드로 나누어서 각 그리드가 그리드 ID를 가지도록 한다. 다음 그림 2는 그리드를 인덱싱한 것이다. 그림 2와 같이 그리드를 인덱싱한 후 각 인덱스 넘버는 그리드를 기반으로 형성이 될 클러스터의 ID가 된다.

패킷 전송 시에 각 클러스터 ID를 함께 전송함으로써 문제가 생성된 그리드를 알 수 있으며 또한 각 클러스터 헤더가 포워딩 후에 이웃 클러스터의 ID를 기억하도록 하여 경로(path)를 형성 할 수 있도록 한다.

| | | |
|-------|-------|-------|
| [0,2] | [1,2] | [2,2] |
| [0,1] | [1,1] | [2,1] |
| [0,0] | [1,0] | [2,0] |

그림 2 그리드 인덱싱

3.2 데이터 공고(Data Announcement)

관심 사건이 발생하면 이를 제일 처음 발견한 센서 노드가 소스 노드가 되어 이를 전체 센서 네트워크에 알리기 위해 소스노드의 위치, 클러스터ID를 포함한 데이터 공고 패킷을 형성한다. 소스 노드는 이 패킷을 자신이 속한 클러스터의 헤더 노드에게 전송하고 이를 받은 헤더 노드는 자신의 캐쉬에 저장 후 센서 네트워크에 알리기 위하여 자신의 상하에 위치한 클러스터에게 패킷을 포워딩하게 된다. 즉 자신의 세로축에 있는 헤더 노드에게 패킷을 전송하고 이를 받은 헤더들은 다시 자신의 캐쉬에 공고 패킷을 저장하게 된다. 그러나 이때 중간에 하나 이상의 보이드 그리드 발생 시에는 더 이상 포워딩을 진행할 수 없으므로 보이드 그리드 이후에 위치한 클러스터 헤더는 패킷을 전달 받을 수 없게 된다. 이를 해결하기 위해서 상하가 아닌 자신의 클러스터 좌우로 1-hop 포워딩을 허용한다. 그림 3은 1-hop 포워딩을 허용하여 데이터 공고 패킷을 포워딩하는 방법을 설명하고 있다. 그림 3과 같이 [2,1]클러스터 헤더는 패킷을 자신의 상하에 위치한 클러스터에게 패킷을 포워딩한다. 그러나 일정 시간이 지나도 ACK을 받지 못하면 [2,1] 클러스터의 헤더는 보이드 그리드가 존재한다고 여기고 자신의 왼쪽과 오른쪽 헤더에게 1-hop포워딩을 요청한다. 이 요청을 받은 헤더는 ACK을 보내는데 [2,1]클러스터 헤더는 ACK을 먼저 보낸 클러스터 헤더를 자신의 이웃으로 간주하고 자신의 캐시에 저장한 후 패킷을 포워딩하게 된다.

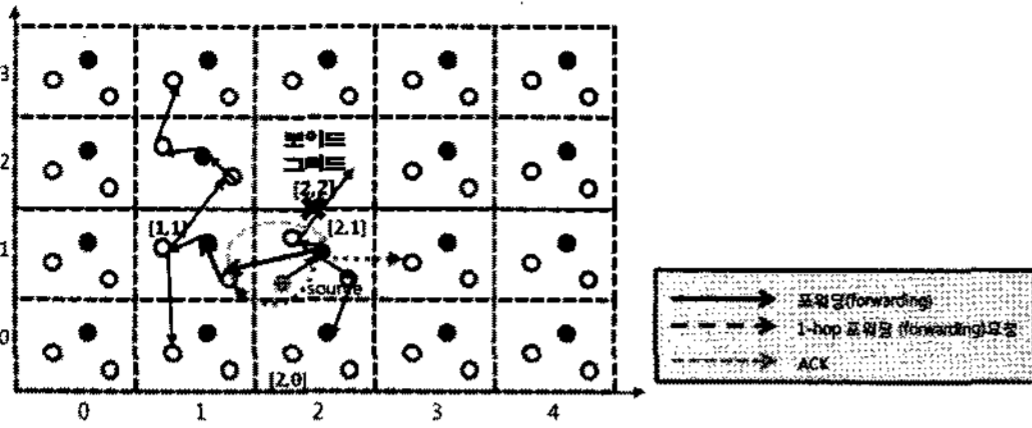


그림 3 데이터 광고

3.3 데이터 요청(Data Request)

싱크 노드가 데이터를 필요로 하면 자신이 속한 클러스터의 헤더에게 데이터를 요청하는 쿼리를 전송한다. 이를 받은 헤더는 자신의 좌우에 위치한 클러스터 헤더에게 쿼리를 포워딩하게 된다. 그러나 이것 또한 데이터 광고와 마찬가지로 중간에 보이드 그리드가 있다면 더 이상 포워딩할 수 없게 된다. 따라서 그림 4와 같이 상하로 1-hop 포워딩을 요청하여 데이터 요청 패킷을 포워딩하도록 한다.

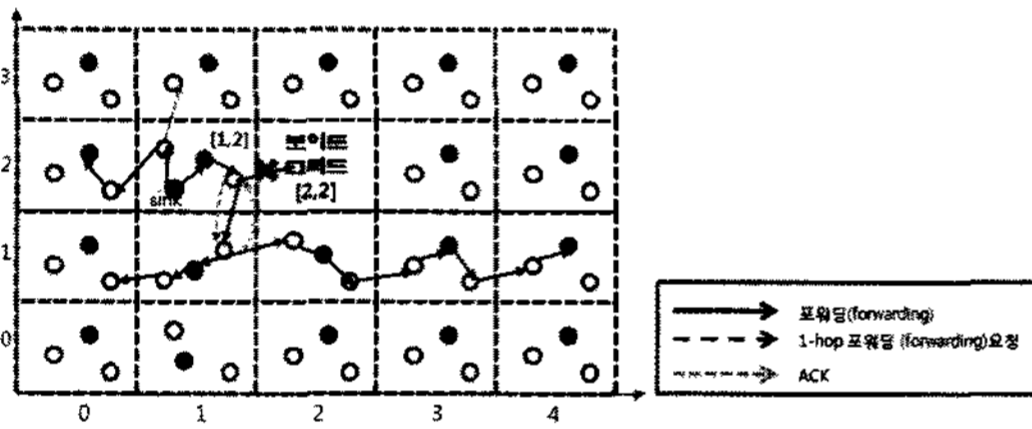


그림 4 데이터 요청

그림 4와 같이 [1,2] 클러스터의 헤더가 데이터 요청 패킷을 자신의 좌우로 포워딩한다. 그러나 일정 시간동안 ACK이 도착하지 않으면 [1,2]의 클러스터 헤더는 보이드 그리드가 존재한다고 생각하고 자신의 위아래에 존재하는 클러스터 헤더에게 1-hop 포워딩 허용을 요청한다. 이 요청을 받은 헤더는 ACK 보내는데 이때 [1,2] 클러스터 헤더는 먼저 ACK을 보낸 클러스터 헤더를 자신의 이웃으로 간주하고 자신의 캐시에 저장한다.

3.4 데이터 포워딩(Data Forwarding)

데이터의 포워딩은 데이터 광고 패킷을 가지고 있는 헤더 노드가 데이터 요청패킷을 받으면 자신의 캐시에서 데이터 광고 패킷을 꺼내어 패킷의 클러스터 ID를 보고 소스 노드가 있는 클러스터 헤더에게 데이터 요청 패킷을 전송한다. 소스 노드가 있는 클러스터의 헤더 노드가 데이터 요청 패킷을 전송 받으면 다시 자신의 클러스터 안에 있는 소스노드에게 데이터 요청 패킷을 전송하게 된다. 소스 노드는 데이터를 포함한 데이터 패킷을 형성하여 자신의 포함된 클러스터의 헤더로 다시 전달하게 되고 이 헤더는 역 경로(path)를 통해서 싱크노

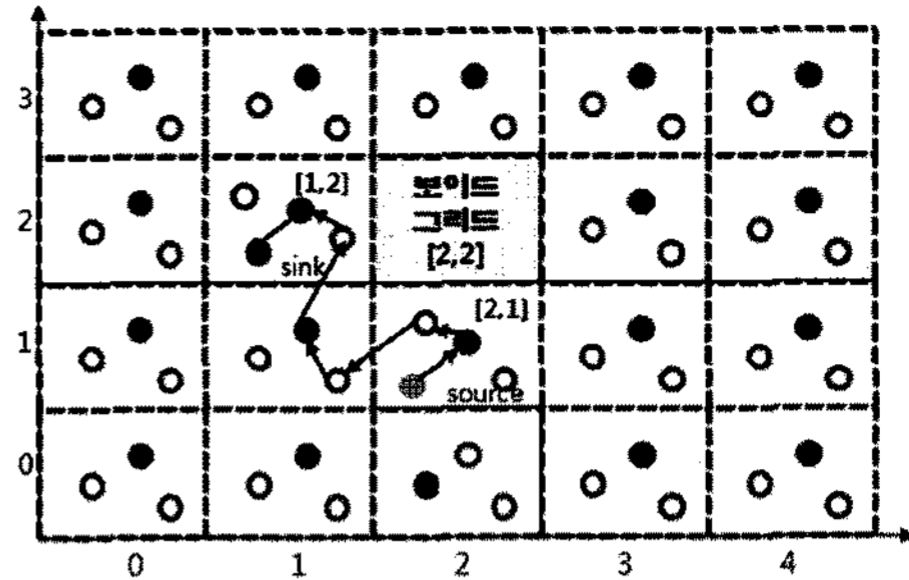


그림 5 데이터 포워딩

드로 전달한다. 그림 5는 데이터 포워딩을 설명하고 있는 것이다.

4. 성능분석

4장에서는 본 논문에서 제안하는 프로토콜과 TTDD에서 사용되는 패킷의 양에 따른 통신비용(communication overhead)을 수학적으로 비교분석 하였다. 분석한 통신비용은 최대 통신비용에 초점을 맞추었다.

4.1 분석 모델

사용한 분석 모델은 넓이가 R^2 이며 한 변에 길이가 R 인 센서 필드에 N 개의 센서 노드가 뿌려진 센서 네트워크이다. 그러므로 각 사이드에서 존재 할 수 있는 센서 노드의 크기는 \sqrt{N} 이다. 각 그리드는 $r \times r$ 인 사각형으로 이루어져 있고, r 은 그리드의 사이즈이며 이 크기는 센서 네트워크의 특징에 따라 변할 수 있다. 따라서 한 그리드에 존재하는 센서 노드의 양은 약 $(\frac{\sqrt{N}r}{R})^2$ 이다. 센서 네트워크에서는 k 개의 모바일 싱크가 존재하며 이 싱크 노드들이 v 속도로 T 시간동안 m 개의 셀을 지나며 p 개의 데이터 패킷을 받는다면 싱크 노드가 한 그리드에서 받을 수 있는 데이터의 양은 p/m 이다. 그리고 모든 데이터 패킷의 단위는 단위크기이며 데이터 광고 패킷, 쿼리, 1-hop 포워딩, ACK의 사이즈는 τ 라고 정의한다. 또한 본 논문에서 제안하는 프로토콜은 고정 그리드를 사용함으로써 각 그리드 마다 존재하는 그리드 ID를 통해 싱크 노드와 센서 노드사이의 거리를 측정할 수 있으므로 이들 사이의 거리를 d 라하고 다음과 같이 정의 한다.

x, y 좌표를 가진 그리드 구조에서 그리드의 좌표를 $g(p,q)$ 라고 한다면 시작의 좌표를 $g(x_s, y_s)$ 라고 하고 끝의 좌표를 $g(x_e, y_e)$ 한다. 이때 이들 사이의 거리 $d = \max\{|x_e - x_s|, |y_e - y_s|\}$ 이다. 예를 들어 소스 노드의 좌표는 $g(1,2)$ 이고 싱크노드의 $g(4,5)$ 이면 이들 사이의 거리 d 는 3이다.

4.2 통신비용

앞서 말한 것과 같이 사용된 패킷의 양에 따른 최대 통신비용에 대하여 분석한다.

• 클러스터 헤더 선출

먼저 각 클러스터에서 헤더를 뽑기 위해서 지역적으로 헤더 광고 패킷을 플러딩(flooding)하므로 이때 필요한 패킷 수는 $(\frac{\sqrt{Nr}}{R})^2 \tau$ 이다.

• 데이터 광고(data announcement)

소스노드가 현상을 발견하면 이를 자신의 클러스터 헤더로 보낸다. 이때 소스노드와 클러스터 헤더 사이에 최대 직선거리는 $\sqrt{2}$ 이므로 센서 노드의 평균수는 $\frac{\sqrt{2Nr}}{R}$

이며 사용된 패킷의 수는 $\frac{\sqrt{2Nr}}{R} \tau$ 이다. 이를 받은 클러스터 헤더는 자신의 상하에 위치한 클러스터에게 데이터 광고 패킷을 보내고 일정시간 동안 응답이 없으면 보이드 그리드가 존재한다고 간주하여 자신의 좌우로 1-hop 포워딩을 요청하고 ack을 받은 후에 데이터 광고 패킷을 포워딩한다. 이때 거리는 $d = \max\{|y_s - (y_s + R/r)|\}$ 이며 필요한 패킷 수는 $2 \frac{\sqrt{Nr}}{R} d \tau$ 이다. 따라서 데이터 광고에 필

요한 전체 패킷의 수는 $\frac{\sqrt{2Nr}}{R} \tau + 2 \frac{\sqrt{Nr}}{R} d \tau$ 이다.

• 데이터 요청(Data Request)

싱크노드가 데이터를 필요로 하면 센서 네트워크에 쿼리를 전송하게 된다. 이때 먼저 싱크 노드는 자신의 클러스터 헤더에게 쿼리를 요청한다. 싱크노드와 클러스터 헤더 사이의 최대 직선 거리는 $\sqrt{2}$ 이므로 필요한 패킷 수는 $\frac{\sqrt{2Nr}}{R} \tau$ 이다. 싱크노드의 클러스터 헤더는 자신의 좌우의 클러스터에 쿼리를 전송하여 소스노드의 클러스터 헤더까지 쿼리를 전송한다. 이때 이 두 클러스터 사이의 거리를 구하면 다음과 같다.

$$d = \max\{|x_{sink} - x_{source}|, |y_{sink} - y_{source}|\}$$

또한 쿼리가 직선거리를 이용하는 대신에 좌우로 전송하기 때문에 2만큼 증가하므로 패킷의 수는 $2 \frac{\sqrt{Nr}}{R} d \tau$ 이다. 이때 만일 ACK을 받지 못하면 보이드 그리드가 존재 한다고 여기고 1-hop 포워딩을 자신의 상하에 위치한 클러스터에게 요청하여 ack을 받으면 쿼리를 포워딩한다. 이때 최대거리는 $d = \max\{|y_s - (y_s + R/r)|\}$ 이며 패킷 수는 $2 \frac{\sqrt{Nr}}{R} d \tau$ 이다. 이를 받은 소스노드의 클러스터 헤더는 소스노드에게 쿼리를 전송하며 클러스터 노

드에서 소스노드까지의 최대 직선거리는 $\sqrt{2}$ 이므로 사용된 패킷의 수는 $\frac{\sqrt{2Nr}}{R} \tau$ 이다. 따라서 쿼리에 필요한

전체 패킷의 수는 $2 \frac{\sqrt{2Nr}}{R} \tau + 2 \frac{\sqrt{Nr}}{R} d \tau$ 이다.

• 데이터 포워딩(Data Forwarding)

싱크노드로부터 쿼리를 받은 소스노드는 데이터 패킷을 만들어서 자신의 클러스터 헤더에게 전달한다. 이때 소스노드와 클러스터 헤더사이의 최대 직선거리는 $\sqrt{2}$ 이므로 센서 노드의 평균수는 $\frac{\sqrt{2Nr}}{R}$ 이며 사용된 패킷

의 수는 $(\frac{\sqrt{2Nr}}{R}) \frac{p}{m}$ 이다. 이를 전달 받은 클러스터 헤더는 소스노드가 존재하는 클러스터까지 역 경로를 사용하여 데이터 패킷을 전달한다. 이때 최대 거리는 $d = \max\{|x_{sink} - x_{source}|, |y_{sink} - y_{source}|\}$ 이며 직선거리가 아닌 상하좌우로 패킷이 전송되어야 하므로 4만큼씩 증가하여 패킷의 수는 $4(\frac{\sqrt{Nr}}{R}) \frac{p}{m} d$ 이다. 따라서 k개의 패킷이 m개의 클러스터를 지나므로 제안된 통신비용의 합계는 다음과 같다.

$$\frac{\sqrt{Nr}}{R} (\tau (\frac{\sqrt{Nr}}{R} + 3\sqrt{2} + 4d) + p(4d + \sqrt{2})) \quad (1)$$

다음은 TTDD의 통신비용을 분석하였다[3]. 싱크노드는 쿼리를 소스 노드에게 전송하기 위해 지역적으로 지역 전송 노드(immediate dissemination node)를 찾는다. 이때 지역적으로 플러딩(flooding)하므로 $(\frac{\sqrt{Nr}}{R})^2 \tau$ 만큼의 패킷을 사용한다. 지역 전송 노드는 포워딩 정보를 이용하여 쿼리를 소스 노드까지 전송한다. 이때 가로 세로 방향으로 돌려보내므로 패킷 수는 최대 $\sqrt{2}$ 만큼 증가한다 ($0 < c \leq \sqrt{2}$). 따라서 쿼리에 사용되는 패킷 수는 $(\frac{\sqrt{Nr}}{R})^2 \tau + \sqrt{2}(c\sqrt{Nr}) \tau$ 이다. 쿼리를 받은 소스노드는 데이터 패킷을 싱크노드에 보낸다. k개의 싱크 노드가 m개의 셀을 지날 때 통신비용은 $km \frac{\sqrt{Nr}}{R} \tau + kc(m + \tau) \sqrt{2N}$ 이다.

여기에 그리드를 형성 비용과 업데이트 형성 비용을 더하면 TTDD의 전체 통신비용은 다음과 같다.

$$Nr + \frac{4N}{\sqrt{n}} \tau + kmn\tau + kc(m\tau + p) \sqrt{2N} \quad (2)$$

이와 같이 수학적으로 통신비용을 분석한 결과 제안된 라우팅 프로토콜이 TTDD에 비해 데이터 전송에 필요한 패킷의 수가 \sqrt{N} 의 배수만큼 줄었음을 알 수 있다. 그림 6은 센서 노드 수에 따른 통신비용을 보여주고 있다. 2000m×2000m인 센서 필드에 4개의 모바일

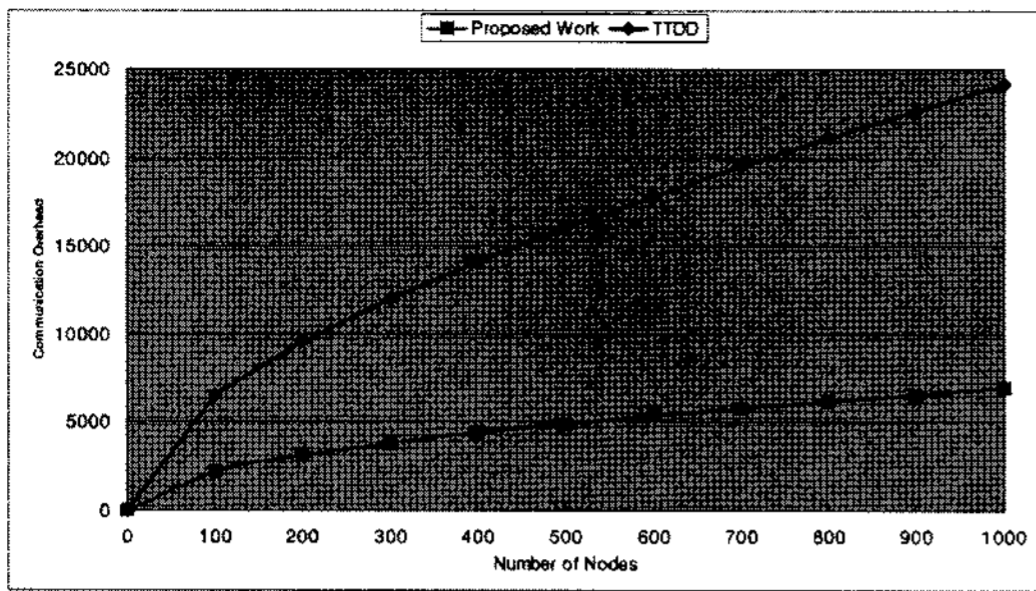


그림 6 통신비용분석

싱크가 존재하고 각 그리드의 사이즈는 $r=200$ 이며 $c=1$, $d=1$, $\tau=1$, $m=1$ 그리고 $p=100$ 이라고 가정하고 센서노드의 개수가 0~1000 변할 때 TTDD와 통신비용을 비교하였다.

그림 6에서 보여 주듯이 본 논문에서 제안한 프로토콜이 센서 노드의 수가 증가 하더라도 통신비용이 TTDD에 비해 절감 되는 것을 알 수 있다. 이는 TTDD가 소스노드의 수에 비례하여 그리드를 형성해야 하지만 제안된 프로토콜은 고정 그리드를 사용함으로써 이에 따른 통신비용을 감소 할 수 있었다. 또한 TTDD가 패킷을 보내기 위해 최단 거리를 사용하지 않는데 반해서 여기서는 각 클러스터 간의 ID를 이용하여 TTDD에 비해 더 효율적인 경로로 패킷을 전송하도록 하였다.

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 TTDD에서 센서 노드가 현상을 발생할 때 마다 그리드를 형성함으로써 제어 패킷의 수가 증가하는 문제를 줄이기 위해서 고정 그리드를 이용하여 그리드 형성과 유지에 필요한 패킷의 수를 줄이고자 하였다. 또한 CBPER 프로토콜에서 생기던 보이드 그리드 문제를 해결하기 위해 전체적으로 1-hop 포워딩을 허용하였다. 이로 인하여 보이드 그리드가 존재할 경우 패킷 포워딩을 계속하여 지속 하지 못하는 문제를 해결함으로써 전체 센서 네트워크에서의 통신이 중단되는 문제를 해결하였다. 또한 수학적 분석을 통해서 본 연구에서 제안한 프로토콜이 기존의 것보다 통신비용을 줄임으로써 에너지 효율적임을 알 수 있었다. 향후 연구 과제로서는 데이터 전송 시 최적의 경로를 찾기 위한 알고리즘에 대한 연구가 필요할 것이다.

참고 문헌

[1] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks," MOBI-COM 2000.

- [2] Fan Ye, Gary Zhong, Songwu Lu, Lixia Zang "GRADient broadcast: a robust data delivery protocol for large scale sensor networks," Wireless Networks 11, pp. 285-298, 2005.
- [3] Haiyun Luo, Fan Ye, Jerry Cheng, Songwu Lu, Lixia Zhang, "TTDD: two-tier data dissemination in large-scale wireless sensor networks," MOBI-COM 2002.
- [4] 권기석, 이승학, 윤현수, "센서 네트워크를 위한 클러스터 기반의 에너지 효율적인 라우팅 프로토콜", 정보과학회 논문지, 2006.2.
- [5] Hung Le Xuan, Sungyoung Lee "A coordination-based data dissemination protocol for wireless sensor networks," ISSNIP 2004.
- [6] Rui Zhang, Hang Zhao, Miguel A. Labrador, "The Anchor Location Service (ALS) protocol for large-scale wireless sensor networks," InterSense 2006.