

무선 센서 망을 위한 위치 기반 라우팅에서 싱크 위치 전달 방안

정회원 이 의 신*, 박 수 창*, 준회원 이 정 철*, 종신회원 김 상 하*^o

Sink Location Dissemination Scheme in Geographic Routing for Wireless Sensor Networks

Eulsin Lee*, Soochang Park* *Regular Members*, Jeongcheol Lee* *Associate Member*,
Sang-Ha Kim*^o *Lifelong Member*

요 약

무선 센서 망을 위한 위치 기반 라우팅에서 소스 노드가 데이터 패킷을 전달하기 위해서는 목적지인 싱크의 위치 정보가 필요하다. 기존의 대부분의 위치 기반 라우팅 방법들은 소스 노드가 위치 서비스를 통해 싱크의 위치를 알 수 있다고 단순히 가정한다. 그러나, 소스 노드가 싱크의 위치 정보를 알기 위한 방법은 쉬운 일이 아니다. 따라서, 본 논문에서, 우리는 무선 센서 망을 위한 위치 기반 라우팅에서 싱크 위치 전달 방안을 제시한다. 제안 방안에서, 소스 노드와 싱크 노드는 싱크 위치 알림과 질의 메시지를 위치 기반 라우팅을 통해 각각의 두 경로로 보낸다. 두 경로의 교차점에 위치한 노드는 소스에게 싱크의 위치를 알려준다. 그때, 소스는 위치 기반 라우팅을 통해 싱크에게 데이터 패킷을 전달할 수 있다. 어떠한 불규칙한 센서 망의 형태에서도 두 경로가 최소한 하나의 교차점을 갖도록 보장하는 것이 본 논문의 요점이다. 시뮬레이션 결과는 우리의 프로토콜이 다른 프로토콜들에 비해 에너지 소비와 제어 부하 부분에서 월등히 우월함을 보인다.

Key Words : Wireless Sensor Networks, Geographic Routing, Sink Location, Crossing Point, Irregular Profile

ABSTRACT

In geographic routing for wireless sensor networks, sources need the location of sinks destined for delivering their data packets. Most of the existing geographic routing protocols merely assume that the sources can get the locations of sinks by some location service. How source nodes find out the location of sinks is not easy. In this paper, we propose a sink location dissemination scheme in geographic routing for wireless sensor networks. In this scheme, a source node and a sink node send sink location announcement and query messages along two paths respectively by geographic routing. The node located on the crossing point of the two paths informs the source about the sink location. Then the source can send data packet to the sink by geographic routing. How to guarantee that these two paths have at least one crossing point in any irregular profile of sensor network is the challenge of this paper. Simulation results show that our protocol is significantly superior to other protocols in terms of energy consumption and control overhead.

※ 본 연구는 충남대학교 컴퓨터공학과BK21 차세대정보기술SW인력양성사업단 지원으로 수행하였습니다.

* 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터 네트워크 연구실 ({eslee, winter, jclee}@cclab.cnu.ac.kr) (shkim@cnu.ac.kr) (^o: 교신저자)
논문번호 : KICS2009-06-241, 접수일자 : 2009년 6월 8일, 최종논문접수일자 : 2009년 7월 22일

I. 서 론

무선 센서 망에서 위치 기반 라우팅은 데이터 패킷을 전달하기 위해 전체적인 토폴로지 정보 대신 위치 정보만을 이용하기 때문에 매력적인 접근법으로 여겨져 왔으며, 이러한 위치를 기반한 방안은 좀더 효율적이고, 간단한 구조와 확장성을 갖게 만든다. 위치 기반 라우팅 방안에서, 한 소스 노드는 각각의 데이터 패킷에 목적지의 위치 정보를 넣는다. 데이터 패킷을 받은 후에, 노드는 위치상 목적지에 가장 가까운 한 홉 내의 이웃 노드로 전송한다. 이 과정은 데이터 패킷이 결과적으로 목적지 노드에 도착할 때 까지 반복된다. 이러한 메커니즘은 소스에서 목적지까지 작은 부하로 라우팅 홉을 줄일 수 있다. 위치 기반 라우팅은 세 가지 필수 조건이 요구되는데, 다시 말해서, 첫째로, 각 노드가 자신의 위치 정보를 반드시 알아야한다. 이는 GPS 나 다른 위치 서비스^{[8],[9]}로서 이러한 요구를 만족시킨다. 둘째로, 각 노드는 자신의 한 홉 이웃 노드들의 위치를 알아야한다. 이 요구조건은 비콘 메시지를 통해 만족될 수 있다^[1]. 셋째로, 소스 노드는 목적지 노드의 위치를 알아야한다. 몇몇 잘 알려진 위치 기반 라우팅 방안들은^{[1],[4]} 특정 위치 서비스를 통해 소스 노드가 패킷 목적지의 위치를 안다고 단순히 가정하고 있으며, 어떻게 소스 노드가 소스 노드가 목적지의 위치를 알아올 수 있는가에 대해서는 상세히 말하고 있지 않다.

플러딩(Flooding)^[5]은 소스 노드들에게 싱크의 위치 정보를 제공하는 가장 단순한 방법이다. 특별히, 한 싱크는 자신의 위치 정보를 센서 망 전체에 플러딩하고, 그러므로 망의 모든 소스 노드들은 싱크의 위치를 얻을 수 있다. 이러한 플러딩 방법은 다수의 모바일 싱크가 망에 존재한다면 에너지와 대역폭등 많은 양의 망 자원을 소모한다.

소스 노드들에게 싱크들의 위치 정보를 제공하기 위해 초래되는 플러딩 부하를 피하기 위해, TTDD^[6]과 ALS^[7]이라 이름 지어진 두 가지 격자 기반 프로토콜이 제안되었다. TTDD 는 주기적으로 각 소스 기반 광역 격자 구조를 구성하는데, 각 격자 점(Grid point) 은 전달 노드(Dissemination node) 들로 연합되어있고, 각 전달 노드는 자신의 상위(Upstream) 와 하위(Downstream) 전달 노드들을 안다. 한 싱크 노드는 전달 노드를 찾기 위해 데이터 질의 메시지를 대략 하나의 격자 셀 크기 지역 이내에 브로드캐스트 한다. 그리고 나서 그 질의 메

시지는 일련의 전달 노드들에 의해 릴레이 되고 결국 소스 노드가 받게 된다. 이 후 소스 노드는 질의 메시지의 역 경로를 따라 싱크에게 데이터 패킷들을 보낸다. 단지 하나의 격자 셀 크기 이내의 플러딩 질의 메시지는 효율적인 방법이지만, 셀 크기가 크면 클수록 플러딩 지역은 더 넓어지게 되므로 더 큰 플러딩 부하가 필요해지고, 반면에 작은 격자 크기는 격자를 구성하는데 들어가는 부하가 더욱 커지는 현상을 초래한다. 또한 주기적인 각 소스 기반 광역 격자 구성은 추가적인 부하를 두드러지게 생성한다.

TTDD 와 달리, ALS 는 격자 점들에 가장 가까운 센서들을 격자 노드로 지정함으로써 모든 싱크들과 소스들을 위한 공용의 광역 격자를 생성한다. 한 싱크는 자신의 위치 알림 메시지를 네 방향의 수직의 격자 노드들에게 전달한다. 싱크 위치 알림 메시지와 싱크 위치 질의 메시지를 받은 격자 노드들은 소스 노드에게 싱크의 위치에 대해 알린다. 그리고 나서 소스 노드는 위치 기반 라우팅을 통해 싱크 노드에게 데이터 패킷을 전송한다. 위의 과정들이 플러딩이 전혀 없다고 할지라도, 싱크 위치 알림 경로들과 소스 질의 경로들은 꽤 복잡하며, 만약 다수의 소스와 싱크가 망에 존재한다면 다수의 중복된 신호 경로들이 존재하는 문제점을 지니고 있다.

본 논문에서, 소스에게 싱크들의 위치를 제공하기 위해 초래되는 부하를 최소화하기 위해, 우리는 무선 센서 망에서 위치 기반 라우팅을 위한 싱크 위치 전달 제안 방안 (Sink Location Dissemination Scheme for Geographic Routing) 을 제안한다. 제안 방안에서, 한 싱크 노드는 위치 기반 라우팅으로 싱크 위치 알림 메시지를 센서 망의 가장 자리에 있는 두 앵커(Anchor) 위치에 전달함으로써 싱크 위치 알림 경로가 생성된다. 또한 한 소스 노드는 위치 기반 라우팅으로 싱크 위치 질의 메시지를 센서 망의 가장 자리에 있는 두 앵커 위치에 전달함으로써 싱크 위치 질의 경로가 생성된다. 이러한 두 경로의 교차점에 위치한 센서 노드는 소스에게 싱크의 위치에 대해 제공하게 된다. 그리고나서 소스는 위치 기반 라우팅으로 싱크에게 데이터 패킷을 전송한다. 싱크 위치 알림/질의 단계 동안에는 플러딩 과정도 없고 중복된 신호를 주고 받는 일도 없다. 요점은 센서 망의 어떠한 불규칙한 망의 형태에서도 두 경로가 최소한 하나의 교차점을 갖도록 보장하는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다: 2장은 무선 센서 망에서 위치 기반 라우팅을 위한 싱크 위치 전달 방안에 대해 상세히 설명한다. 분석은 3장에서 볼 수 있으며, 4장은 시뮬레이션과 본 제안 방안의 성능 평가를 기술한다. 그리고 5장은 본 논문의 결론이다.

II. 제안된 방안

우리는 각 노드가 GPS 나 기타 위치 서비스 [8],[9] 들을 통해 자신의 위치 정보를 얻을 수 있다고 가정한다. 각 노드는 비콘 메시지[11]를 통해 자신의 한 홉 이웃의 리스트를 얻을 수 있다. 우리는 무선 센서 노드가 2차원 평면에 뿌려진 토폴로지를 고려한다.

2.1 싱크 위치 전달 방안

그림 1은 제안된 무선 센서 망을 위한 싱크 위치 전달 방안을 보여준다. 불규칙한 형태를 갖는 센서 망의 가장자리(edge) 는 네 파트로 분리된다. 이것들은 ①, ②, ③, ④ 를 의미한다. 각 파트의 많은 수의 망의 가장자리 노드들(network edge nodes)은 앵커 노드로서 선택된다. 앵커 노드들은 싱크 위치 알림 메시지 또는 싱크 위치 질의 메시지의 목적지로서 사용된 망의 가장자리 노드들의 집합이다.

이벤트가 감지되면, 그림 1의 노드 E 에서 볼 수 있듯이, 한 센서 노드는 소스 노드가 된다. 소스 노

드 E 는 위치 기반 라우팅을 사용하여 각각 ① 과 ③ 에 속해있는 두 랜덤 앵커 노드 M, N 에게 소스 노드의 위치와 탐지된 이벤트의 종류를 포함한 Sink Location Query (SLQ) 메시지를 보낸다. 그 후 싱크 위치 질의 경로 \overline{MEN} 이 만들어지고, 위치 기반 라우팅 프로세스에 참여한 모든 센서 노드들은 그들의 소스 리스트 테이블에 소스 위치와 이벤트 타입을 저장한다.

한 싱크가 센서 망에 존재할 때, 싱크는 위치 기반 라우팅을 사용하여 각각 ② 와 ④ 에 속해있는 두 랜덤 앵커 노드 P, Q 에게 싱크의 위치와 싱크의 인터레스트(interest) 를 포함한 Sink Location Announcement(SLA) 메시지를 보낸다. 그 후 싱크 위치 알림 경로 \overline{PSQ} 가 만들어지고, 위치 기반 라우팅 프로세스에 참여한 모든 센서 노드들은 그들의 싱크 리스트 테이블에 싱크의 위치와 인터레스트를 저장한다.

그림 1 에서 볼 수 있듯이, 비록 ① 과 ③ 의 두 앵커 노드가 소스에 의해 선택되어진다 할지라도, ② 와 ④ 의 두 앵커 노드는 싱크에 의해 선택되어진다. 그리고 소스 노드 E 와 싱크 노드 S가 망 내에 위치한다 할지라도, 싱크 위치 질의 경로 \overline{MEN} 과 싱크 위치 알림 경로 \overline{PSQ} 는 최소한 하나의 교차점 O 를 갖는다. 하지만, 교차점 O는 SLQ와 SLA 메시지의 경로 상의 교차점일 뿐 SLQ와 SLA 메시지의 두 경로가 반드시 동일한 노드에서 교차에서 지나가는 것은 아니다. 즉, 교차점 O는 SLQ와 SLA 메시지 모두를 수신한 노드가 존재하는 위치는 아니다. 따라서, 무선 전송의 overhearding 특성을 이용하여, 우리는 SLQ와 SLA 메시지가 위치 기반 라우팅에 의해 앵커 노드들에게 전달될 때, 이 두 메시지의 교차점 O 근처에서 이 두 메시지 모두를 overhearding하는 센서 노드들 중에 하나가 교차점 노드가 되도록 한다. 교차점 노드는 소스의 위치와, 이벤트 타입, 싱크의 위치, 그리고 싱크의 인터레스트를 알게 된다. 만약 이벤트 타입이 싱크의 인터레스트와 일치한다면 소스 노드는 위치 기반 라우팅을 통해 싱크에게 데이터 패킷을 전송한다.

이것은 제안된 싱크 위치 전달 방안의 기본적인 아이디어이다. 이것은 소스에게 싱크의 위치를 제공하기 위해 어떠한 플러딩 과정과 별도의 시그널을 주고 받는 과정이 필요하지 않다. 중요한 이슈는 소스 노드와 싱크 노드가 그들의 앵커 위치 점을 알

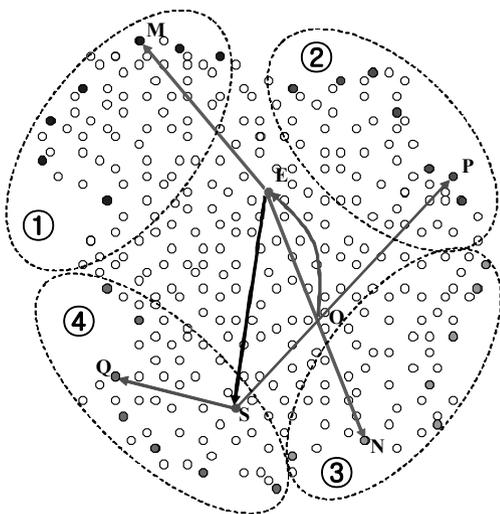


그림 1. 제안된 싱크 위치 전달 방안

이야 하는 것이다. 다시 말해서, 망의 가장자리를 어떻게 네 파트로 나눌 것인가에 대한 점과 어떻게 소스나 싱크 노드가 자신의 앵커 점을 선택하는가에 대한 점은 다음 소장에 표현되어 있다.

2.2 망 초기화

2.2.1 앵커 노드 선택

제안된 방안은 많은 수의 센서 망의 가장자리 노드들 중 몇몇 노드를 앵커 노드로 사용하기 위해 선택할 필요가 있다. 한 노드는 자신이 센서 망의 가장자리에 위치했는지 여부를 망이 배치(deployment) 되는 동안 직접적인 구분(manual identification) 또는 망이 배치 된 이후에 몇 가지 자동 탐색 방법^{[10],[11]}에 의해 알 수 있다.

앵커 노드 선택 프로세스는 시작 노드라고 이름 지어진 한 노드에서 시작된다. 이 노드는 일반적인 센서 망의 가장자리 노드 또는 Personal Digital Assistant(PDA) 장치가 될 수 있다. 첫째로, Initiator 노드는 앵커 노드 선택을 위해 사용되는 Anchor Node Selecting(ANS)메시지를 초기화한다. ANS 메시지는 다음의 필드를 포함한다. Initiator Node ID, Initiator Node Location, Anchor Interval, and Hop-To-Select. Anchor Interval 필드는 두 이웃 앵커 노드 사이의 일반적인 망의 가장자리 노드들의 수를 정의한다. 만약 Anchor Interval 필드가 0으로 설정된다면, 모든 센서 망의 가장자리 노드들은 앵커 노드로 사용 되어야 할 것이다. Hop-To-Select 필드는 망의 가장자리 노드가 자신이 앵커 노드로서 선택 되어야 하는가의 여부를 판단하기 위해 사용된다. 이것은 시작 노드에 의해 Anchor Interval 필드와 같은 값으로 초기화된다. ANS 패킷은 망의 가장자리 노드를 따라 오른 손 법칙(right hand rule)^[11]으로 포위당된다 (예를 들어 설명하면 당신이 미로에서 오른 손을 벽에 대고 계속해서 앞으로 걸어 나가면 모든 벽을 방문하는 것은 가능하다는 것을 뜻한다). 한 망의 가장자리 노드가 ANS 패킷을 받았을 때, 그것은 Hop-To-Select 필드가 0 인지 여부를 확인한다. 만일 0 이 아닌 경우, 그 노드는 Hop-To-Select 필드의 값을 1 만큼 감소시킨다. 만약 0인 경우, 그 노드는 자신의 위치를 ANS 패킷에 넣음으로써 자신을 앵커 노드로 등록하고, ANS 패킷의 Anchor Interval 필드의 값과 같게 Hop-To-Select 필드를 재설정한다. 그리고 나서 그 노드는 오른 손 법칙을 통해 ANS 패킷을 자신의

이웃 망의 가장자리 노드에게 전송한다.

그림 2-a 에서 볼 수 있듯이, 우리는 센서 망의 가장자리에 {}로 표현되는 n 개의 센서 노드가 위치한다고 가정한다. 첫째로, Initiator Node I는 초기화 후 잘 알려진 오른 손 법칙을 따라 ANS 패킷을 자신의 이웃 망의 가장자리 노드 N0에 전송한다. 이 ANS 패킷의 Initiator Node ID는 시작 노드 I의 ID 로 설정하고, Initiator Node Location 필드는 시작 노드 I의 위치로 설정한다. Anchor Interval 필드와 Hop-To-Select 필드는 모두 '2' 로 설정한다. 노드 N0가 ANS 패킷을 받았을 때, 그 노드는 Hop-To-Select 필드가 0이 아님을 확인하고, Hop-To-Select 필드의 값을 '2' 에서 '1' 로 감소시키고 수정된 ANS 패킷을 자신의 이웃 망 가장자리 노드 N1에게 오른 손 법칙을 통해 전송한다. 노드 N1는 노드 N0와 같은 프로세스를 수행한다. 즉, Hop-To-Select 필드의 값을 '1' 에서 '0' 으로 감소시키고 수정된 ANS 패킷을 자신의 이웃 망의 가장자리 노드 N2에 오른 손 법칙을 통해 전송한다. 노드 N2가 ANS 패킷을 받았을 때, 그 노드는 Hop-To-Select 필드가 '0' 임을 확인하고, 자신의 위치를 데이터 패킷에 넣음으로써 자신을 앵커 노드로 등록한다. 그리고 나서 노드 N2는 Hop-To-Select 필드의 값을 ANS 패킷의 Anchor Interval 필드의 값과 동일하게 '2' 로 재설정하고, 수정된 ANS 패킷을 자신의 이웃 망의 가장자리 노드 N3에게 전송한다. 이러한 프로세스들은 ANS 가 모든 망의 가장자리 노드에 전달되고 결국 시작 노드 I에 되돌아올 때까지 반복된다. 그 후 시작 노드 I 는 그림 2-a 에서 볼 수 있듯이 전송 받은 ANS 패킷에 의해 앵커 노

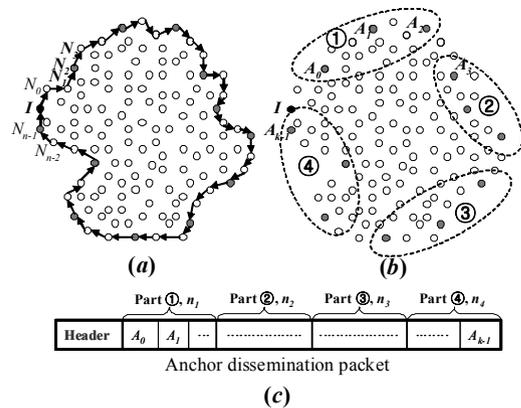


그림 2. 망 초기화 진행 과정

드 리스트 {N2, N5, N8, N11...} 를 얻는다. 편의를 위해, 우리는 앵커 노드의 리스트 {N2, N5, N8, N11...} 에 k개의 앵커 노드가 있다고 가정하고 노드의 리스트를 그림 2-b 에서 볼 수 있듯이 {A0, A1, A2, ... Ak-1} 로 변환시킨다.

2.2.2 앵커 노드 전달

ANS 패킷을 통해 앵커 노드의 리스트를 얻어온 후에, 시작 노드 I 는 Anchor Nodes Dissemination (AND) 패킷을 초기화한다. 이 AND 패킷은 네 가지 필드를 포함한다. 즉, 각각의 필드 파트①, 파트②, 파트③, 파트④ 는 그림 2-b 와 그림 2-c 에서 볼 수 있듯이 앵커 노드들의 서브 리스트를 담는다. n1, n2, n3, n4는 각 파트의 앵커 노드들의 수라고 가정하고, n1, n2, n3, n4는 그림 3 의 공식에 의해 계산될 수 있다.

AND 패킷의 초기화 후, 시작 노드 I 는 AND 패킷을 전체 센서 망에 플러딩한다. 각 센서 노드는 Anchor node 1, Anchor node 2, Anchor node 3, 그리고 Anchor node 4 의 아이템을 담고 있는 앵커 노드 테이블을 유지한다. 어떤 하나의 센서 노드가 AND 패킷을 받았을 때, 그 노드는 전송 받은 AND 패킷의 파트①, 파트②, 파트③, 파트④의 필드에서 각각 하나의 앵커 노드를 랜덤하게 선택한

다. 그리고 이 네 개의 앵커 노드를 앵커 노드 테이블의 Anchor node 1, Anchor node 2, Anchor node 3, Anchor node 4 아이템에 각각 저장한다.

지금껏, 각각의 센서 노드는 자신의 앵커 노드 테이블에 네 개의 앵커 노드를 얻었다. 그림 1 에서 볼 수 있듯이, 어떤 센서가 이벤트를 감지했을 때, 그 노드는 위치 기반 라우팅을 통해 Sink Location Query(SLQ) 메시지를 자신의 앵커 노드 테이블에 있는 Anchor node 1과 Anchor node 3에게 전송한다. 만약 어떤 싱크가 센서 망에 존재한다면, 그 싱크는 자신의 주변 센서 노드로부터 앵커 노드 테이블의 사본을 요청한 후에 앵커 노드 테이블의 Anchor node 2 와 Anchor node 4 에게 위치 기반 라우팅을 통해 Sink Location Announcement (SLA) 메시지를 전송한다. 두 경로의 교차점에 위치한 센서 노드는 소스 노드에게 싱크의 위치에 대해 알려준다. 그때, 소스 노드는 위치 기반 라우팅을 사용하여 싱크에게 데이터 패킷을 보낸다.

2.2.3 앵커 노드 업데이트

제안 방안에서 앵커 노드는 단지 SLA와 SLQ 패킷들의 목적지로서 이용된다. 앵커 노드 위치는 SLA와 SLQ의 패스의 교차점을 보장하기 위해 중요하다. 앵커 노드들은 어떠한 추가적인 역할들을 가지지 않기 때문에 다른 센서 노드들과 비슷한 수명을 가진다. 앵커 노드의 어떠한 이웃 노드는 패킷의 목적지인 앵커 노드가 자신의 무선 범위 내에 위치한다는 것을 알기 때문에 앵커 노드에게 수신한 SLA나 SLQ 패킷을 전달할 필요가 없다. 이러한 방법에 의해, 제안 방안은 앵커 노드와 앵커 노드의 이웃 노드들의 에너지 소모를 줄일 수 있다. 앵커 노드는 죽거나 앵커 노드의 이웃 노드들의 죽음으로 인해 도달되지 않을 수 있다. 첫 번째 경우에, 하나의 네트워크 경계 노드가 앵커 노드의 죽음을 탐지하고 자신을 새로운 앵커 노드로서 지정한다. 두 번째 경우에, 앵커 노드는 자신의 이웃 노드들의 수가 특정 임계값보다 작으면 하나의 이웃 노드를 새로운 앵커 노드로서 지정한다. 두 가지 모든 경우에, 새로운 앵커 노드는 자신의 존재를 알리고 앵커 노드가 되기 위해 경쟁하는 다른 노드들을 막기 위해 단지 몇 홉 이내로 자신의 위치를 지역적으로 플러딩한다. 로컬 플러딩 이내에 어떠한 노드들은 이전의 앵커 노드에게 보내진 SLA와 SLQ 패킷을 새로운 앵커 노드로 보낸다.

```

if (k can be divided by 4 exactly)
    n1 = n2 = n3 = n4 = k/4;
    (e.g., k=16, n1=n2= n3= n4 =4)
else if (k is a even number but can not be
divided by 4 exactly)
    n1 = n2 = ⌊k/4⌋, n3 = n4 = ⌊k/4⌋+1;
    (e.g., k=14, n1=n2= 3, n3= n4 =4)
else (k is a odd number
{
    n1 + n2 = ⌊k/2⌋, n3 + n4 = ⌊k/2⌋+1;
    If (n1 + n2 is a even number)
        n1 = n2 = n3 = ⌊k/4⌋, n4 = ⌊k/4⌋+1;
        (e.g., k=13, n1=n2=n3=3, n4 =4)
    else (n1 + n2 is a odd number)
        n1 = ⌊k/4⌋, n2 = n3 = n4 = ⌊k/4⌋+1;
        (e.g., k=15, n1 =3, n2=n3=n4=4, )
}
end
    
```

그림 3. AND 패킷이 담고 있는 파트들의 앵커 노드 수 계산식

III. 분석

제안 방안은 싱크 위치 알림 또는 싱크 위치 질의 단계 동안 광역적인 격자 구성이나 플러딩 과정이 없다. 단지 망 구성 단계에서의 한 번의 플러딩만이 요구된다. 센서 망의 장기간의 모니터링을 위해, 단지 한 번의 플러딩은 심각한 부하를 생성하지는 않는다.

그림 4 는 제안된 싱크 위치 전달 방안에서 다수의 소스와 싱크가 센서 망에 존재하는 하나의 시나리오이다. 이 시나리오에서, 모든 싱크 위치 알림 경로와 싱크 위치 질의 경로는 어떠한 경우에도 반드시 하나의 교차점을 갖는다. 한 번 하나의 싱크가 위치 알림 메시지를 싱크 앵커 노드에게 전송하면, 모든 소스들은 일치하는 교차 노드들을 통해 싱크의 위치를 얻을 수 있다; 한 번 하나의 소스 노드가 싱크 위치 질의 메시지를 전송하면, 소스는 일치하는 교차 노드들을 통해 모든 싱크들의 위치 정보를 얻을 수 있다.

2.2.1 장에서 언급했듯이, Anchor Node Selecting (ANS) 메시지의 Anchor Interval 필드는 두 이웃 앵커 노드 사이의 망의 가장자리 노드들의 수를 정의한다. 만약 Anchor Interval 필드가 '0' 으로 설정된다면, 모든 망의 가장자리 노드들은 앵커 노드로 선택될 것이다. 이 경우에, 모든 센서 망의 가장자리 노드들은 같은 확률을 가지고 소스들 또는 싱크들로부터 앵커 노드로서 사용되며, 결국 망의 가장자리 노드들의 에너지 소모는 균일해진다. 그러나

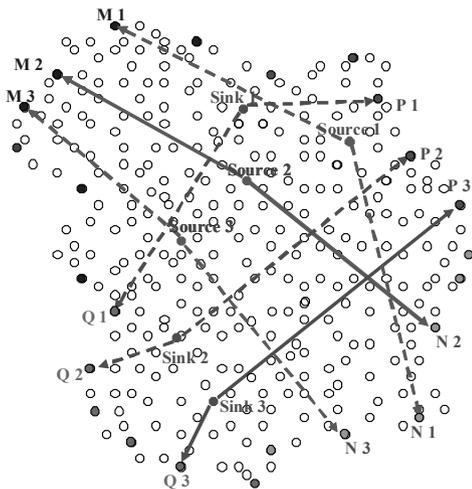


그림 4. 다수의 소스들과 다수의 싱크들이 망에 존재하는 경우의 예

모든 망의 가장자리 노드들이 앵커 노드로서 사용된다면, 이러한 모든 노드들은 그들의 위치를 ANS 패킷에 담아야하고, 그러므로, 프로토콜의 확장성이 저하된다. 또 다른 극심한 경우는, Anchor Interval 필드가 충분히 큰 값으로 설정되어 앵커 노드로 선택될 망의 가장자리 노드가 단지 네 개일 경우이다. 이 경우 ANS 패킷의 크기를 줄일 수 있지만, 이 네 개의 앵커 노드가 망의 모든 소스들 또는 싱크들에 의해 사용되므로 이러한 네 앵커 노드들의 주변 센서 노드들의 에너지는 심각하게 줄어들 것이다. 결국 망의 크기, 노드의 밀도, 그리고 고정적인 수의 소스와 싱크는 적절한 Anchor Interval 값을 고르는데 있어 충분히 고려되어야만 한다.

확장성이 있는 센서 망에서, ANS 패킷이 시작 노드 I 에 이르기 전에 꽉 차는 일(fully loaded) 이 발생할 수 있다. 이 문제의 해결을 위해 두 가지 해결책이 있는데, 첫 번째 해결 방안은 시작 노드 I 가 충분히 큰 Anchor Interval 값으로 ANS 패킷을 다시 초기화 하는 것이다. 다른 해결 방안은 만약 망의 가장자리 노드가 ANS 패킷이 꽉 차있는 것을 발견하면, 꽉 찬 ANS 의 사본을 위치기반 라우팅을 통해 시작 노드 I 에게 전송한다. 그리고나서 그 ANS 패킷의 모든 앵커 위치를 해제하고, 계속해서 망의 가장자리를 따라 비어있는 ANS 패킷을 보낸다.

IV. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경과 척도

제안된 싱크 위치 전달 방안의 성능 측정은 Qualnet 3.8 네트워크 시뮬레이터를 사용했으며, MAC 프로토콜은 IEEE 802.11 표준을 따랐다. 센서 노드들의 전송 범위는 100 m 으로 설정했다. 망은 1000*1000 m² 의 크기를 가지며 400 개의 노드가 랜덤하게 뿌려지도록 설정했다. 각 프로토콜의 주기는 100초로 설정했다. 즉, 우리의 방안에서, 소스와 싱크는 싱크 위치 질의와 알림 메시지를 매 100초 마다 전송한다. 플러딩에서, 싱크 노드들은 자신의 위치를 매 100초마다 플러딩한다. 그리고 TTDD 에서, 소스 노드들은 광역 격자를 구성하고, 싱크는 하나의 격자 크기 지역에 매 100초마다 플러딩한다. TTDD 의 격자 크기는 300 m 으로 설정했다.

우리는 제안된 싱크 위치 전달 방안의 성능을 측정하기 위해 네 가지 척도를 사용한다. 시뮬레이션

시간 동안 제어 부하는 제어 패킷들의 숫자로서 정의된다. 에너지 소모는 제어 패킷들의 총 에너지 소비로서 정의되고, 이 척도는 모든 제어 패킷의 바이트(bytes)의 수에 기반한다. 싱크 탐색 딜레이는 소스에서 싱크의 위치를 아는 기간의 시간으로 정의된다. 가장자리 노드의 수명은 처음으로 가장자리 노드의 에너지가 고갈되었을 때까지의 기간의 시간으로 정의된다.

4.2 시뮬레이션 결과

4.2.1 시뮬레이션 시간의 효과

이 시나리오에서, 하나의 소스와 하나의 싱크는 망에 랜덤하게 위치했다. 시뮬레이션 시간은 매 200 초 마다 200초에서 2000초까지 측정했다. 그림 5는 이러한 세 가지 방안의 제어 부하를 보여준다. 모든 센서 노드들이 매 시간마다 플러딩에 참여했기 때문에, 우리는 플러딩의 제어 부하가 다른 두 방안들에 비해 두드러지게 증가되었음을 볼 수 있다. TTDD의 부하는 플러딩에 비해 낮다. 이것은 TTDD가 광역적인 격자를 구성하기 위해 격자의 가장자리에 위치한 노드들만을 주기적으로 요구하기 때문이다. TTDD의 제어 부하는 가까운 전달 노드(dissemination node)를 찾기 위한 싱크의 지역적인 플러딩을 또한 포함한다. 우리의 방안에서, 소스와 싱크는 두 경로를 따라 싱크 위치 질의와 싱크 위치 알림 메시지만을 전송하고, 그렇기 때문에 우리 방안의 제어 부하는 시뮬레이션 시간 동안 약간 증가되었다. 200초 때에, 우리 방안의 제어 부하는 플러딩과 TTDD에 비해 높은 모습을 보이는데, 그 이유는 우리의 프로토콜의 초기화 단계가 ANS 메시

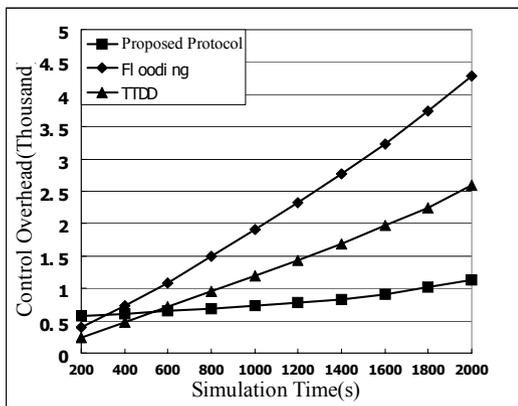


그림 5. 시뮬레이션 시간에 대한 제어 부하

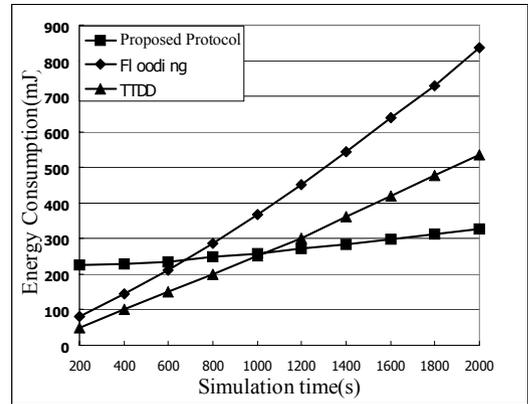


그림 6. 시뮬레이션 시간에 대한 에너지 소모

지를 센서 망의 가장자리 노드를 따라 전송하는 앵커 노드 선택 프로세스와 AND 메시지를 망에 플러딩하는 앵커 노드 전달 단계를 포함하기 때문이다. 이러한 망 초기화 부하는 망의 초기화 동안 오직 한 번 발생하고, 이것은 소스 또는 싱크의 수와 관련이 없다.

그림 6은 세 방안의 에너지 소모를 보여준다. 우리는 이 그래프가 그림 5와 비슷한 것을 볼 수 있다. 이것은 에너지 소모가 제어 패킷의 수와 밀접한 관련이 있기 때문이다. 차이점은 600초 시점 이전에, 우리 방안의 에너지 소모가 TTDD와 플러딩보다 높은 것이고, 그 이유 또한 에너지 소모가 제어 패킷의 크기와 관련이 있기 때문이다. 우리 방안의 초기화 단계에서, ANS 패킷과 AND 패킷은 다른 방안들에 비해 추가적으로 앵커 노드들의 리스트를 포함한다. 이 시나리오에서, 우리는 단지 하나의 소스와 하나의 싱크가 제어를 측정하도록 설정하고 시뮬레이션 시간을 단지 2000초로 설정한다. 그렇지만 실제적인 센서 망에서, 소스와 싱크의 개수와 센서 망의 수행시간은 이러한 시나리오보다 더욱 커진다. 따라서 다수의 소스들과 싱크들이 있는 센서망의 장기간의 동작을 위해서, 우리 방안의 초기화 부하는 주목할 만한 것은 아니다.

4.2.2 싱크 탐색 딜레이의 측정

이번 시나리오는 세 가지 방안들의 평균 싱크 탐색 딜레이를 측정하기 위해 망의 크기를 500*500m²에서 5000*5000m²으로 변화시킨다. 그림 7에서, 우리는 플러딩의 평균 싱크 탐색 딜레이는 세 방안들 중 가장 작은 것을 볼 수 있다. 이것은 플러딩에 의해 싱크 위치 정보가 소스에게 직접적으

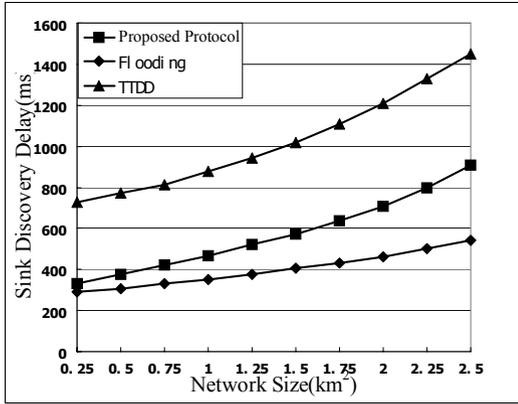


그림 7. 시뮬레이션 시간에 대한 싱크 탐색 딜레이

로 전해지게 되면, 패킷 전달 경로가 직선에 근접하기 때문이다. 싱크 탐색 딜레이는 단지 싱크와 소스 사이의 거리에만 연관이 있다. 우리 방안의 평균 싱크 전달 딜레이는 플러딩보다 조금 더 크다. 이것은 우리의 방안에서 싱크 위치는 싱크에 의해 소스에게 직접 전송되지 않고 싱크 위치 질의 경로와 싱크 위치 알림 경로의 교차점에 의해 릴레이 될 필요가 있기 때문이다. 싱크 위치는 소스에게 주로 곡선의 경로를 따라 전송된다. TTDD의 평균 싱크 위치 발견 딜레이는 우리의 방안과 플러딩에 비하면 상당히 같다. 이것은 TTDD에서, 소스는 주기적으로 데이터 알림 격자 구조를 만들고 싱크는 데이터 질의 메시지를 주기적으로 지역 플러딩하며, TTDD의 평균 싱크 탐색 딜레이는 대부분 이렇게 밀접하게 동기화 된 두 타이머의 차이이기 때문이다. 반면 우리 방안에서, 싱크 위치 질의 경로와 싱크 위치 알림 경로 양쪽에 동시에 위치한 노드는 싱크 또는 소스의 위치 정보를 저장한다. 이러한 방법은 싱크와 소스의 동기화가 요구되지 않는다. 소스는 싱크의 위치를 센서 망에 싱크가 존재할 때 즉시 얻을 수 있다.

4.2.3 Anchor interval의 변화에 따른 가장자리 노드 수명 측정

이 시나리오에서, 센서 망의 가장자리에 위치한 노드의 수는 80개이다.

3장은 Anchor node Selecting(ANS)의 Anchor Interval 필드의 효과를 분석했다. 만약 Anchor Interval 필드가 '0'으로 설정되면, 모든 망의 가장자리 노드들은 앵커노드로 선택될 것이다. 이 경우에, 모든 센서 망의 가장자리 노드들은 같은 확률을

가지고 소스들 또는 싱크들로부터 앵커 노드로서 사용되며, 결국 망의 가장자리 노드들의 에너지 소모는 균일해진다. 그러나, 모든 망의 가장자리 노드들이 앵커 노드로서 사용된다면, 이러한 모든 노드들은 그들의 위치를 ANS 패킷에 담아야하고, 그러므로, 프로토콜의 확장성이 저하된다. 긴 앵커 노드 리스트를 담기 위해 AND 패킷의 크기 역시 증가될 것이다. 이것은 망의 초기화 부하를 증가시킨다. 그림 8은 우리 방안에서 망의 가장자리 노드들의 수명을 측정한 것을 보여준다. 우리는 Anchor Interval 필드가 '0'으로 설정 되었을 때 가장자리 노드의 수명이 가장 긴 것을 볼 수 있다. 이것은 센서 망의 가장자리 노드들이 같은 확률을 가지고 소스 또는 싱크들로부터 앵커 노드로서 사용되기 때문이다. Anchor Interval 필드가 '1'로 설정된다면 단지 50%의 가장자리 노드들만이 앵커 노드로서 사용된다. 이러한 앵커 노드들이 목적지의 싱크 위치 질이나 싱크 위치 알림 메시지로 사용될 확률은 Anchor Interval 필드가 '0'로 설정된 경우보다 두 배이다. 따라서 Anchor Interval 필드의 값은 증가할 때, 망의 가장자리 노드의 수명은 줄어든다. 반면 ANS와 AND의 수 역시 줄어들기 때문에 우리 방안의 망의 초기화 부하는 줄어든다. 결국 망의 크기, 노드의 밀도, 그리고 소스와 싱크의 고정적인 수는 적절한 Anchor Interval 값을 고르는데 있어 충분히 고려되어야만 한다.

V. 결론

본 논문에서, 우리는 무선 센서 망에서 위치 기반 라우팅을 위한 싱크 위치 전달 방안을 제안한다.

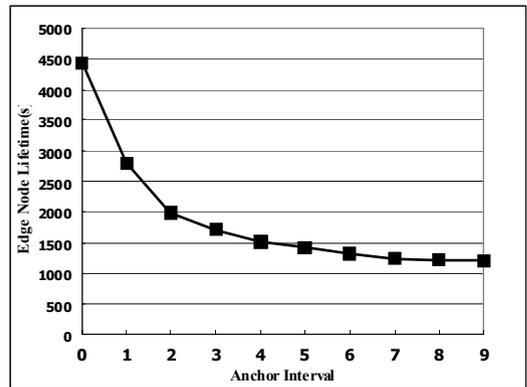


그림 8. Anchor Interval 필드에 대한 가장자리 노드의 수명

각 센서 노드는 망 초기화 단계 동안 네 개의 앵커 위치를 얻는다. 소스 노드는 망의 가장자리에 위치한 두 앵커 노드에게 싱크 위치 질의 메시지를 보내고, 싱크 노드는 망의 가장자리에 위치한 나머지 두 앵커 노드에게 싱크 위치 알림 메시지를 보낸다. 싱크 위치 알림 경로와 싱크 위치 질의 경로의 교차점에 위치한 센서 노드는 소스에게 싱크의 위치에 대하여 알려주고, 소스는 위치기반 라우팅을 통해 싱크에게 데이터 패킷을 전송한다. 싱크 위치 알림 또는 싱크 위치 질의 단계 동안 광역적인 격자 구성이나 플러딩 과정은 없기 때문에, 이러한 싱크 위치 전달 방안은 다른 프로토콜들 보다 제어 부하와 에너지 소비 측면에서 월등함을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] B. Karp, H.T. Kung. "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks," In *Proc. of the 6th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking*. Boston: ACM Press, 2000. pp. 243-254.
- [2] T. He, J.A. Stankovic, C. Lu and T.F. Abdelzaher, "A Spatiotemporal Communication Protocol for Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 16, No. 10, October, 2005, pp. 995-1006.
- [3] H.S. Kim, T.F. Abdelzaher, and W.H. Kwon, "Minimum-energy asynchronous dissemination to mobile sinks in wireless sensor networks", In *Proc. of the 1st ACM international conference on Embedded networked sensor systems*, November, 2003, pp. 193-204.
- [4] Y. Yu, R. Govindan, D. Estrin, "Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," *UCLA Computer Science Department Technical Report*, UCLA-CSDTR-01-0023, May, 2001.
- [5] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, "Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks," In *Proc. of the 6th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking*. Boston: ACM Press, 2000, pp. 56-67.
- [6] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, L. Zhang, "TTDD: A Two-tier Data Dissemination Model for Large-Scale Wireless Sensor Networks," In *Proc. of ACM/IEEE MOBICOM*, Sep., 2002. pp. 148-159.
- [7] R. Zhang, H. Zhao, and M. A. Labrador, "A Grid-based Sink Location Service for Large-scale Wireless Sensor Networks", In *Proc. of ACM International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC 2006)*, July, 2006, pp. 689-694.
- [8] J. Hightower and G. Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing". *IEEE Computer*, Vol.34, No.8, August 2001, pp. 57-66.
- [9] A. Savvides and M. B. Strivastava, "Distributed Fine-grained localization in ad-hoc networks", *IEEE Transactions of Mobile Computing*, 2003.
- [10] S. P. Fekete, A. Kroeller, D. Pfisterer, S. Fischer, and C. Buschmann, "Neighborhood-based topology recognition in sensor networks," In *Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks: First International Workshop (ALGOSENSOR)*, 2004, pp. 123-136.
- [11] J.A. Bondy and U.S.R. Murty, "Graph Theory with Applications," (Elsevier North-Holland, 1976).
- [12] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less Low Cost Out Door Localization for Very Small Devices," Tech. rep. 00729, Comp. Sci. Dept., USC, Apr., 2000.

이 의 신 (Euisin Lee)

정회원



2005년 8월 충남대학교 정보통신공학부 컴퓨터 전공
2007년 8월 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
2007년 9월~현재 충남대학교 컴퓨터 공학과 박사과정
<관심분야> Internet Routing,

Wireless Sensor Networks, MANET, Geographic Routing, Mobility 등

박 수 창 (Soochang Park)

정회원



2005년 8월 충남대학교 정보통신공학부 컴퓨터 전공

2007년 8월 충남대학교 컴퓨터 공학과 석사

2007년 9월~현재 충남대학교 컴퓨터 공학과 박사과정

<관심분야> Internet Routing,

Wireless Sensor Networks, MANET, 4G, Multicast 등

김 상 하 (Sang-Ha Kim)

종신회원



1980년 서울대학교 학사

1984년 University of Huston 석사

1989년 University of Huston 박사

1992년~현재 충남대학교 정보통신공학부 교수

<관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET, 4G, Mobility, Multicast 등

이 정 철 (Jeongcheol Lee)

준회원



2008년 2월 충남대학교 정보통신공학부 컴퓨터 전공

2009년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터 공학과 석사과정

<관심분야> Internet Routing,

Wireless Sensor Networks, MANET, Multicast 등