

무선센서네트워크에서 에너지 효율적인 그리드 기반의 홀 우회 방식

정회원 김 성 휘*, 박 호 성*, 이 정 철*, 종신회원 김 상 하*

Energy-Efficient Grid-based Hole-Detouring Scheme in Wireless Sensor Networks

Sunghwi Kim*, Hosung Park*, Jeongcheol Lee* *Regular Members*,
Sang-Ha Kim*^o *Lifelong Member*

요 약

무선센서네트워크에서 예기치 못한 지형과 자연현상 또는 노드 파손, 불균형적인 에너지 손실로 홀(hole)이 발생하는 것은 필수불가결하다. 이런 문제를 다루는 대부분의 현존 방식은 홀을 피하기 위해 정적인 우회 경로를 구성한다. 정적인 우회 경로는 홀 주변부에 있는 노드들의 과도한 에너지 손실을 유발한다. 그래서 데이터 패킷이 홀 주변 노드에 몰리고 노드들의 에너지는 급속하게 고갈되며 홀의 영역이 확대되는 효과가 나타난다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 가상 그리드 상에서 위치기반 라우팅 방식과 동적인 그리드 앵커포인트 설정을 통한 효율적인 홀 우회 방식을 제안한다. 제안된 홀 우회 방식은 홀이 있는 불규칙한 무선센서네트워크에서도 에너지 효율적이며 데이터 신뢰성을 제공하는 홀 우회 전송방식이다. 시뮬레이션 결과는 이러한 주장의 타당성을 제공한다.

Key Words : wireless sensor network, grid-based, geographic routing, hole detouring scheme

ABSTRACT

Holes that generated by the unpredictable and harsh nature application environment or uneven energy consumption are an inevitable phenomenon in wireless sensor networks. Most of the existing schemes for this hole problem tend to use a static detour path to bypass a hole. The static detour path may lead to uneven energy consumption of the nodes on the boundary of the hole, thus it may enlarge the region of holes. At the same time, traffic would concentrate on the nodes on the boundary of the hole and tend to be depleted quickly. To solve this problem, we introduce energy-efficient grid-based geographic routing and hole-detouring scheme by taking advantage of grid anchor point in wireless sensor network with holes. The location of hole detour anchor node is dynamically shifted in grid cell. just generating dynamic hole detour paths to reduce total energy consumption. Simulation results are provided to validate the claims.

I. 서 론

무선센서네트워크는 자체적으로 통신 네트워크를 조직할 수 있는 많은 센서 노드들로 구성되어 있다. 이들 센서 노드들은 데이터를 수집하고 처리하고

전송하며 분석할 수 있는 기능을 가지고 있다. 메모리, 에너지와 컴퓨터 처리능력에서의 센서 노드의 한계는 무선센서네트워크 분야에서 많은 연구 이슈가 되어오고 있다^[1]. 이들 한계점 가운데 센서 노드의 에너지 소비는 무선센서네트워크에서 라우팅 프

* 충남대학교 컴퓨터공학과 컴퓨터네트워크 연구실(spatio@cnu.ac.kr, {hspark, jcllee}@cclab.cnu.ac.kr, shkim@cnu.ac.kr), (° : 교신저자)
논문번호 : KICS2012-02-078, 접수일자 : 2012년 2월 24일, 최종논문접수일자 : 2012년 4월 10일

로토콜을 디자인할 때 중요한 고려 사항이다.

위치기반 라우팅(geographic routing)^[2]은 무선센서네트워크에서 매력적인 접근 방법이며, 데이터 패킷을 라우팅할 때 네트워크 전체의 토폴로지 정보 대신에 지역 정보를 이용한다. 위치기반 라우팅 방식은 다중 홉(multi-hop) 센서네트워크에서 패킷을 각 노드에서 지역의 위치 정보를 이용하여 경로 설정한다. 위치기반 라우팅 프로토콜은 전체 노드들의 위치 상태를 필요로 하지 않고 두 가지 정보를 기반으로 한다. 첫째는 각 노드들은 자신의 위치 정보와 이웃 노드의 위치 정보를 안다고 가정한다. 이것은 이웃 노드 사이에 비컨(beacon) 메시지를 교환하면서 또는 위치 정보서비스를 통해 네트워크 구축시에 알 수 있다. 두 번째 가정은 목적지의 위치는 패킷을 만들 때 알고 있다고 가정한다. 이 위치기반의 방식은 무선센서네트워크에서 에너지 효율적이며, 간단하고 확장성이 높은 라우팅 프로토콜이다^[2].

그리고 위치기반의 라우팅 프로토콜^[2]은 두 가지 모드(mode)가 있다. 일반적으로 감지한 소스 노드가 패킷을 목적지에 가장 가까운 노드로 보낼 때 포워딩(forwarding) 모드로 설정하고 보낸다. 그러나 홀(hole)은 위치기반의 라우팅에서 필수 불가결한 현상으로 국소현상(local minimum phenomenon)^[3]이라 불려진다. 이와 같이 위치기반 라우팅 프로토콜은 목적지로 가는데 국소현상인 홀을 만나면 우회하기 위해 우회 모드(detouring mode)를 이용하여 회피한다.

그렇지만 위치기반 라우팅 방식은 홀의 주변 노드에 트래픽이 집중하고 네트워크 평면 그래프(planar graph)를 이용하여 홀 문제를 다룬다. 즉 오른손 규칙을 사용하여 그래프의 에지(edge)를 경유하여 홀을 우회하고 목적지에 도달한다. 이와 같은 홀 라우팅 알고리즘은 항상 정적이고 우회 모드 라우팅을 사용하여 해결한다. 홀 주변부에 있는 노드가 죽기 전에 패킷은 홀의 주변 노드에 의해 전송된다. 실제 네트워크상에서는 주변 노드에 집중되기 때문에 홀 주변부에 있는 노드들이 재빨리 에너지가 고갈되는 현상이 발생한다.

본 논문에서는 이러한 문제점 해결을 위해 홀 정보를 미리 알고 홀을 우회하는 방법이며 에너지 효율적으로 동적인 그리드 앵커 포인터 위치를 설정하여 홀 주변 노드에서 데이터 충돌 없이 홀 우회를 할 수 있으며 전체 네트워크의 수명(lifetime)을 고려한 방안으로 다음과 같은 순서로 제안하고자 한다. 나머지는 다음과 같다. 먼저 2장에서 관련된

논문에 대해 간략하게 설명을 한다. 제 3장에서 폐쇄형 홀(closed-circle hole)과 개방형 홀(unclosed-circle hole)이 있을 경우에 제안된 홀의 우회 방식에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과와 분석을 한다. 끝으로 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

무선센서네트워크에서 홀 우회 방식에 대한 많은 연구들이 진행되어 왔고 현재도 진행 중인 연구 이슈이다. 홀 우회 방식은 크게 두 가지 부류로 연구되고 있다. 첫 번째 부류로, 미리 수집된 홀 정보 없이 홀 우회하는 방식과 두 번째로, 미리 홀 정보를 수집한 후 홀을 우회하는 방식이 있다. 첫 번째 방식은 네트워크에서 미리 홀을 수집하는 수고가 없기 때문에 에너지 효율적인 방안으로 제시되었고, 대표적인 방식으로 유명한 GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)^[2], TPGF(Two Phase geographical Greedy Forwarding)^[9] 등이 있다. GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)은 평면 좌표에서 홀(hole)의 문제를 다루고, 홀을 우회하기 위해 트래픽이 홀의 주위 노드에 집중된다. 소스 노드에서 데이터 패킷이 목적지로 포워딩(greedy forwarding) 하다가 홀을 만나면 주변(perimeter) 모드로 전환 후 오른손 법칙을 이용하여 홀을 우회한 후 목적지로 전송된다. 이와 같은 홀 라우팅 알고리즘은 정적이며 주변 모드 라우팅을 이용하여 홀을 회피한다. 홀의 주변부에 있는 노드들은 데이터 패킷의 전송을 위해 사용되기 때문에 노드의 에너지가 급속하게 고갈되는 경향이 있고, 여러 소스 노드에서 데이터 패킷이 동시에 전송되면 데이터 충돌도 발생한다. 그리고 라우팅 경로를 항상 찾을 수 있다는 보장을 할 수 없다. 그 다음으로 제안된 TPGF 방식은 다양한 홀이 있는 네트워크에서 최적의 경로를 찾을 수 있으나 다중경로 구성 시에 많은 에너지가 소비되는 단점이 있다.

또 다른 방식은 미리 홀의 정보를 수집한 후 홀을 우회하는 방식으로 네트워크 초기 단계에서 모든 센서 노드가 홀의 정보를 알기 위해 정보를 요청하며 홀의 정보를 수집하는 단계에서 많은 에너지를 소비하나 홀을 우회한 최적의 경로를 구성할 수 있다. 대표적인 방식으로 홀 기하학 모델링(Hole Geometric Modelling)^[5] 등이 있다. 이 방식은 동적인 데이터 전송 프로토콜로 정적인 데이터 전송 프로토콜을 업그레이드 한 것이다. 먼저 홀 기하학적

모델링을 통해서 홀 정보를 알고 홀을 우회하여 목적지로 데이터를 전송한다. 홀의 경계영역을 알기 위해 노드는 홀 경계 감지(Hole Boundary Detection) 패킷을 오른손 법칙을 이용하여 홀 주위 노드를 따라 이동하면서 홀 경계 영역에 대한 정보를 수집한다. 수집된 홀의 모든 경계 노드의 위치 정보를 이용하여 홀 주위의 모든 노드들의 영역을 포함한 사각형 구조를 만들고 이 구조를 통해 타원형의 구조를 완성한다. 홀의 모든 영역을 포함하는 타원형 구조 내에 있는 최초 노드가 타원 분포(Ellipse Distribution) 패킷을 타원 내부에 있는 모든 노드에게 전송하고 타원 내부에 있는 모든 노드는 타원 영역 내부에 있음을 인지한다. 그 다음 첫 번째 단계로 홀의 영역을 피할 수 있는 앵커의 위치를 계산한다. 홀 영역에 있는 접선 노드는 앵커 포인트의 위치를 자신의 노드에서 적절한 거리만큼 떨어질 수 있도록 거리 L 을 계산하고 이 거리 이상의 위치에 앵커 포인트를 둔다. 여기서 L 은 홀의 접선노드에서 우회할 수 있는 노드의 위치까지 거리이다.

두 번째 단계로 앵커 포인트 위치를 동적으로 이동시키기 위해 2차원 가우시안 분포를 적용하여 동적으로 변화된 앵커 포인트를 설정한다. 만약 앵커 포인트 위치에 노드가 없으면 지리적으로 가장 가까운 노드를 동적인 앵커 포인트로 선택한다. 선택된 노드는 홀을 피할 수 있는 노드로 이 노드를 통해서 최종 목적지인 싱크로 데이터를 전송하는 방식이다.

홀 기하학적 모델링^[5]을 통한 동적 전송 프로토콜은 먼저 홀 주변 노드를 감지 패킷을 이용하여 홀의 경계노드의 위치를 수집한 후 홀 주변 모든 노드를 포함한 타원형 구조를 만들고 이 접선노드에서 벗어난 적정의 앵커 위치를 계산하는 센서 노드에 부적합한 복잡한 계산 과정을 거치는 단점을 갖고 있다. 센서네트워크의 지형에서 개방형의 홀이 발생했을 때 홀의 영역을 계산할 수 없어 앵커의 위치를 찾을 수 없는 문제점도 발생한다.

이와 같이 홀 정보 없이 홀 우회 방식은 초기 소비량은 적으나 다중경로 구성 시 경로 수에 따라 에너지 소비량이 급증하고 홀 주위 노드에서 에너지 고갈 현상이 발생한다. 그러나 미리 홀 정보를 수집한 후 홀 우회 방식은 초기 비용은 많이 드나 다중경로 구성 시 유리한 장점을 갖고 있다. 이 논문에서는 두 방식의 문제점을 보완하여 미리 홀의 정보를 수집하여 홀을 우회하는 간단한 홀 모델링

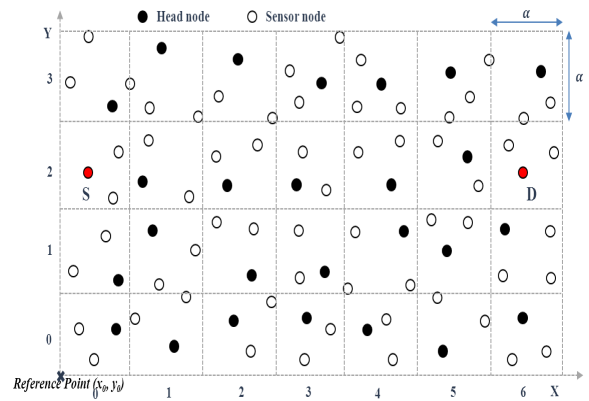


Fig. 1. Virtual grid formation

을 통한 그리드 기반의 데이터 우회 방식을 제안하고자 한다.

III. 제안 방안

다음은 가상 그리드 기반의 홀 모델링의 준비 단계인 네트워크 초기화 과정과 홀 모델링을 통한 홀 우회 과정으로 나누어 설명하고자 한다.

3.1. 네트워크 초기화

3.1.1. 가상 그리드 형성

에너지 소비를 균등하게 해주는 간단한 홀 모델링과 다양한 홀을 우회하는 데이터 전송 프로토콜에 대해 설명한다. 먼저 무선센서망은 위치 정보를 이용하여 가상의 그리드 구조로 나누어지고 위치 정보는 GPS 또는 위치 정보 서비스에 의해 제공된다. 각 그리드는 임의의 주어진 셀 면적 α^2 내에 한 개 이상의 센서 노드가 존재한다고 가정한다. α 는 가상 그리드 구조에서 노드가 살포되는 면적과 노드의 수에 의해 초기에 결정되는 크기로 센서 노드의 전송 반경(R) 보다 작게 설정된다.

$$R \geq 2\alpha \tag{1}$$

여기서 R 은 전송 반경이고 α 는 그림 1에서 각 그리드(grid)의 한 변의 길이이다.

각 그리드 ID는 $[CX, CY]$ 로 할당되고 (x, y) 좌표를 기반으로 각 노드는 다음과 같은 식으로 계산할 수 있다.

$$CX = \left\lfloor \frac{x}{\alpha} \right\rfloor, \quad CY = \left\lfloor \frac{y}{\alpha} \right\rfloor \tag{2}$$

여기서 α 는 그리드(grid) 길이이고 $[k]$ 는 k 보다 적은 가장 큰 정수이다. 방정식 (2)에 의해 각 노드는 어떤 그리드에 속해 있는지 알 수 있다. 그리고 여기에 적용된 위치기반(geographic) 라우팅 방식은 세 가지 조건의 정보를 기반으로 한다. 첫째, 각 노드는 GPS 또는 다른 위치서비스를 통해 자신의 위치정보를 알고 있다는 가정과 둘째, 각 노드는 비컨 메시지를 통해 하나의 홉(one-hop) 이웃 노드의 위치를 알고 있다. 마지막으로, 소스 노드는 목적지 노드의 위치를 알고 있다는 가정이다. 위의 가정에서 모든 센서 노드가 자신의 위치 정보와 목적지의 위치를 안다. 그래서 센서 노드는 이웃 노드와 목적지 노드의 위치를 이용하여 그림 1과 같이 가상 그리드 구조를 설정할 수 있다⁶⁻⁸⁾. 예로 그림 1에서 소스 노드의 그리드 ID는 (0, 2)이고 목적지 노드의 그리드 ID는 (6, 2)이다.

3.1.2. 헤드 노드(Head node)의 선택

각 그리드 상에서 헤드 노드의 선택의 기준은 잔여 에너지의 양은 가장 많은 노드가 헤드 노드로 선택되고 나머지는 슬립(sleep) 모드로 전환된다. 각 그리드에서 슬립 모드로 전환되는 노드들은 전환되기 전에 헤드 노드로 노드의 위치정보와 수치화된 에너지 정보를 헤드 노드에게 보낸다. 헤드 노드는 각 그리드에 있는 노드 정보와 각각의 에너지 정보를 보관하고 이웃 그리드에서 보내온 데이터 패킷을 전송하는 역할을 한다.

그리고 헤드 노드는 다음으로 가장 많은 에너지를 가진 노드를 대기 모드 상태로 전환을 요구하고 에너지의 양이 대기모드 상태인 이웃 노드보다 적으면 잔여 에너지 정보와 기상(wake-up) 메시지를 보내고 자신은 슬립 모드 상태로 전환된다. 기상(wake-up) 메시지를 받은 노드는 헤드 노드의 역할을 한다.

전체 네트워크의 생명주기를 연장하기 위해 각 그리드 상에서 잔여 에너지의 양이 가장 많은 노드를 헤드 노드로 선택한다. 나머지 노드는 슬립(sleep) 모드 상태가 된다. 그리고 헤드 노드는 그리드 내의 이웃 노드들의 잔여 에너지 상태 정보를 가지고 있으며 이웃 노드 에너지 준위보다 낮으면 에너지 고갈 상태에 따라 주기적으로 다른 노드로 선택된다.

3.2. 제안된 홉 우회 방식

이 장에서는 데이터 전송단계로서 폐쇄형 홉

(closed-circle hole)과 개방형 홉(unclosed-circle hole)이 네트워크에 존재할 시 우회하는 과정을 설명하며 소스 노드가 홉의 정보를 알고 홉을 우회하는 방식이다.

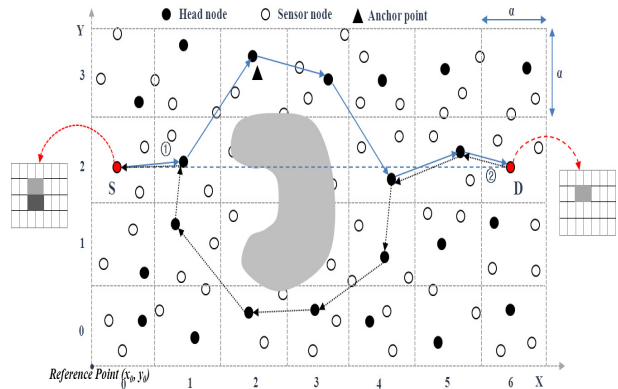


Fig. 2. Hole-bypassing scheme at closed-circle hole

3.2.1. 폐쇄형 홉 우회 방식

이전에 제안된 방식은 정적인 상태에서 앵커의 위치를 설정하므로 해당 노드는 에너지 소비가 급격하게 발생하고 폐쇄형 홉만을 고려했다. 본 논문에서는 각 그리드 상에서 가장 에너지가 많은 센서 노드가 헤드 노드로 선택되며 소스 노드에서 목적지 노드까지의 홉 수에 따라 앵커의 위치가 동적으로 설정되므로 전체 네트워크 수명이 길어질 수 있다. 그리고 다양한 홉의 유형에도 홉을 피해 경로 설정이 가능하고 각 그리드 내에서 헤드 노드는 감지된 데이터를 다양한 홉에서도 최종 목적지로 전송할 수 있다.

데이터 전송은 2단계를 통해 목적지까지 전송한다. 첫 번째, 1단계에서는 그림 2와 같이 자극에 대해 감지된 헤드 노드는 소스 노드로서 패킷 헤드에 목적지 주소를 첨부해서 경로 설정 공고 메시지(path announcement message)를 목적지 노드로 포워딩(forwarding)한다. 네트워크의 중간 지점에서 홉(hole)을 만나면 즉 소스와 목적지가 위치한 x축에서 우회 모드(detouring mode)로 전환되고 홉의 영역에 해당되는 그리드 ID {(2, 2), (3, 2)}를 메시지에 저장한 후 목적지 노드로 보낸다. 목적지 노드에서는 저장된 홉 영역의 그리드 ID 정보와 홉 수를 계산하고 홉의 다른 방향으로 경로 설정 확인 메시지(path acknowledgment message)를 소스 노드에 보낸다. 소스 노드는 다른 방향으로 보내 온 메시지에 저장된 홉 영역의 정보 {(2, 2), (3, 2)}와 목적지 노드에서 보낸 메시지에서 얻은 홉의 정보 {(2, 1), (3, 1)}를 합하여 전체 홉의 영역의 정보와 구 경로

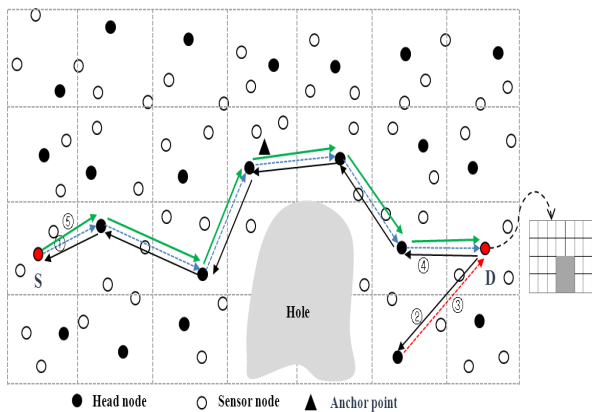


Fig. 3. Hole-bypassing scheme at unclosed-circle hole

의 목적지까지의 홉 수를 갖고 앵커 포인트의 위치를 정한다. 소스 노드는 두 경로 중에서 홉 수가 가장 작은 경로로서 홀의 경계지역의 그리드 ID (2, 3)을 중계 노드의 그리드 앵커의 위치로 설정한다. 설정된 경로로 데이터 패킷을 보내다가 홉 수가 증가 하면 다른 경로의 그리드 ID로 앵커 위치를 동적으로 변경할 수 있다. 그래서 동적인 앵커 포인트 설정을 통해서 전체 센서네트워크 측면에서 에너지 소비를 균등하게 사용할 뿐만 아니라 각 그리드 내에서 헤드 노드의 사용으로 센서네트워크의 에너지 효율을 높일 수 있다.

동적인 그리드 앵커 포인트는 소스 노드와 목적지 노드의 경로가 x축일 경우, 최단 경로가 S에서 D로의 경로 방향에 있을 경우 홀의 영역인 y축으로 최외각의 그리드 ID에서 방정식 (3)와 같이 y축으로 +1 크기만큼을 더한 그리드 좌표의 위치 (x, y + 1)가 앵커 포인트의 위치로 설정된다. 반대로 최단 경로가 D에서 S로의 경로에 있을 경우 그리드 좌표의 위치 (x, y-1)의 위치가 앵커포인트의 위치가 되고 홀의 영역을 피할 수 있다.

$$AP_{Hole} = (x, y + 1) \quad (3)$$

2단계는 홀 우회 전송 단계로 소스 노드가 패킷 헤더에 앵커 모드로 설정하고 앵커 포인트가 있는 위치로 데이터 패킷을 보낸다. 앵커 위치에 있는 노드가 데이터 패킷을 받으면 패킷 헤더를 목적지 모드로 전환하고 최종 목적지 노드로 데이터 패킷을 전송한다.

3.2.2. 개방형 홀 우회 방식

이전에 제안된 방식은 앞에서와 같이 폐쇄형 홀

만을 고려했고, 그림 3과 같은 개방형 홀이 있을 경우 홀의 영역을 확인할 수 없다. 그러나 본 논문에서는 한쪽 면이 개방된 홀이 있을 경우도 소스는 경로를 설정하기 위해 패킷 헤더에 목적지 주소를 첨부해서 경로 설정 공고 메시지(path announcement message)를 목적지 노드로 포워딩(forwarding)한다. 네트워크의 중간 지점에서 홀(hole)을 만나면 우회 모드(detouring mode)로 전환되고 홀의 영역에 해당되는 그리드 ID {(3, 1), (4, 1)}로 메시지에 저장한 후 목적지 노드로 보낸다. 목적지 노드에서는 저장된 홀 영역의 그리드 ID 정보와 홉 수를 계산하고 홀의 다른 방향으로 경로 설정 확인 메시지(path acknowledgment message)를 소스 노드에 보낸다.

목적지 노드에서 보낸 메시지가 홀을 우회하지 못하고 다시 목적지로 돌아오면 개방형 홀로 판정하고 소스 노드는 전체 홀 영역의 정보를 계산하고 처음 경로에서 계산된 목적지까지의 홉 수를 메시지에 저장하고 다시 경로 설정 확인 메시지(path acknowledgment message)를 소스 노드에게 같은 경로로 보낸다. 소스 노드는 센서네트워크의 외각 지역에 형성된 개방형 홀을 확인하고 최적의 원래 경로에 홉 수가 가장 작은 경로로서 홀의 경계지역의 그리드 ID (3, 2)을 중계 노드의 앵커의 위치로 설정한다. 소스 노드는 패킷 헤더에 앵커 모드로 설정하고 앵커 포인트의 위치를 향해서 데이터 패킷을 포워딩한다. 앵커 포인트 위치의 노드에 도착된 패킷 헤더는 목적지 노드로 전환된 후 최종 목적지로 데이터 패킷을 전송한다.

3.2.3. 다중경로 구성

대규모 노드로 구성된 센서망은 소스 노드로부터 목적지 노드까지 다중 홉의 경로를 통해 데이터 패킷의 전송이 이루어진다. 감지된(sensing) 데이터를 필요로 하는 목적지 노드까지 데이터 패킷을 신뢰성 있게 보내는 것이 센서 망에서는 중요하다. 위치 기반 라우팅 방식은 홀이 존재하는 불규칙한 네트워크에서 다중경로 구성 시 데이터 충돌의 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해소하고 분리된 다중경로를 효과적으로 구성하는 그리드기반의 다중경로 방안을 제시한다.

초기에 노드들은 그림 4와 같이 가상 그리드를 구성하고 센서네트워크의 환경과 응용서비스에 따라 다중 경로의 수를 결정한다. 소스 노드는 경로 설정을 위해 최단 거리로 메시지를 목적지 노드로 보낸

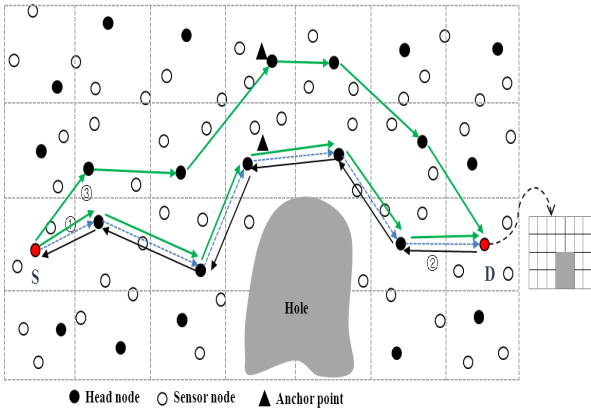


Fig. 4. Multipath routing scheme at unclosed-circle hole

다. 중간에 홀을 만나면 우회해서 홀 영역의 위치정보를 저장하고 목적지로 보낸다. 목적지 노드는 수신한 메시지를 분석하여 홀의 영역정보를 확인하고 소스 노드로 보내면 소스 노드는 홀 영역을 제외한 그리드 앵커 포인터를 그림 4와 같이 설정하고 데이터 패킷을 전송한다.

한 그리드 셀에 하나의 앵커 포인터를 설정하여 분리된 경로를 구성할 수 있다. 각 데이터 패킷 헤더에 앵커 위치 정보 필드, 목적지 위치 정보 필드와 경로 정보 필드, 홀 영역 ID 필드 그리고 플래그 필드로 구성되어 있고 플래그 필드는 0, 1비트로 구성되어 있어 패킷이 목적지 모드(0) 인지, 앵커 모드(1) 인지를 나타낸다.

목적지 노드는 전달된 패킷의 가상 그리드 구조 상에서 홉 수(hop count)와 홀 영역정보를 계산하고 홀 지역을 피한 최적의 앵커 포인터의 위치를 소스 노드로 데이터 패킷에 실어 보낸다. 소스 노드는 받은 정보를 이용하여 앵커 모드로 전환하여 그림 4와 같이 새로운 다중경로를 구성하여 계산된 앵커 위치와 목적지의 위치를 데이터 패킷 헤더에 실고 데이터 패킷을 포워딩한다. 포워딩된 데이터 패킷은 먼저 앵커 포인터 위치에 있는 노드에 도착하면 앵커 위치 정보는 삭제되고 목적지 위치 정보를 갖고 목적지 노드로 위치기반 라우팅에 의해 포워딩한다. 만약 앵커 위치 주위에 노드가 없으면 우회해서 다른 노드를 찾아서 데이터 패킷을 목적지까지 전송한다. 전송된 데이터를 목적지 노드에서 비교하여 앵커 포인트 위치를 다시 설정하여 소스 노드에게 보내면 소스 노드는 새로운 다중경로를 설정하여 데이터 패킷을 안전하게 보낼 수 있다.

IV. 성능 평가

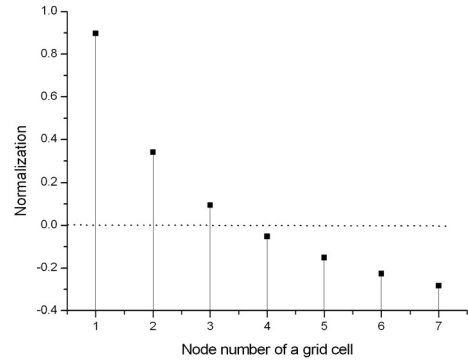


Fig. 5. Efficiency of node number per a cell

노드의 위치 정보를 이용하는 위치기반의 라우팅 프로토콜(GPSR)은 무선센서네트워크에 적합한 방식이다. 노드가 관리하는 상태 정보는 최소이고 오버헤드도 적다. 라우팅 경로는 이동하는 소스 노드나 목적지 노드의 위치 변화에 잘 적응할 수 있다.

소스 노드는 네트워크의 전체 정보를 알 필요가 없으며, 소스의 이동성도 잘 지원한다. 우리의 그리드기반의 메카니즘은 이들의 장점들을 이용하며 홀의 정보를 목적지 노드로부터 소스 노드가 알고 홀을 피해 데이터 패킷을 효율적으로 전송하는 방식이다. 그러나 홀 기하학적 모델링(Hole Geometric Modeling) 방식^[5]은 소스 노드뿐만 아니라 홀 주위 노드를 제외한 대부분의 노드들이 홀의 정보에 대해 알지 못하며 데이터 전송 중에 홀 영역을 알기 위해 복잡한 계산이 필요하고 폐쇄형 홀(closed-circle hole)에서는 잘 적용이 되나 개방형 홀(unclosed-circle hole)에 적용되기 어려운 단점이 있다.

이 논문에서 제안된 방식은 어떤 유형의 홀에서도 홀을 우회해서 목적지 노드로 전송하며 전체 네트워크의 수명을 높일 수 있는 방식이다. 홉 수와 홀의 영역정보를 계산해서 앵커 포인터의 위치를 동적으로 설정할 수 있을 뿐만 아니라 그리드 내부에서도 노드들 간에 잔여 에너지의 양에 따라 헤드 노드의 선택을 번갈아 가면서 하기 때문에 전체 네트워크의 에너지 소비를 줄일 수 있고 네트워크의 수명(lifetime)를 높일 수 있는 메카니즘(mechanism)이다.

이 장에서 기존에 제안된 방식과 성능을 비교 분석하고 시뮬레이션 결과를 제시하고자 한다. 기존에 제안된 여러 방식 중 GPSR 방식^[2], HGM 방식^[5]과 제안된 방식을 비교하였다. 우리는 제안된 프로토콜

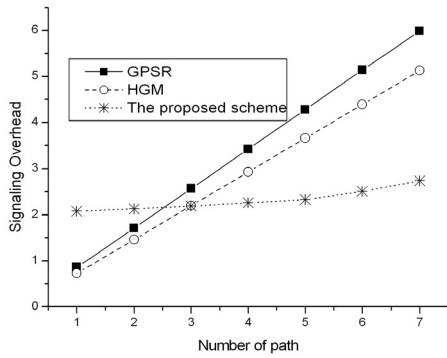


Fig. 6. Signaling Overhead

과 기존 연구를 Qualnet 4.0^[10]으로 구현하였다. MAC 프로토콜은 IEEE 802.11 표준을 사용한다. 센서 노드의 전송 범위는 60m로 설정한다. 시뮬레이션 센서 네트워크의 크기는 가로 1,000m, 세로 1,000m이고, 1000개의 센서노드들이 균등한 밀도로 뿌려져 있다.

홉의 사이즈가 1, 4, 9, 16, $25 \times \alpha^2$ 로 구성하여 홉이 있는 불규칙한 무선센서네트워크로 모델화 하였다. 각 시뮬레이션은 1000초 동안 지속되었다. 데이터 메시지의 평균적 크기는 64bits로 가정하고, ET은 데이터의 한 비트를 전송하는데 필요한 에너지 소비량으로 0.8 μ J/bit 이고 ER은 수신하는데 필요한 에너지 소비량으로 0.6 μ J/bit로 두고 슬립(sleep) 상태일 때의 에너지 소비량은 무시하였다.

그림 5은 주어진 네트워크 영역에서 1000개의 센서 노드가 균등하게 분포한다고 가정하면 한 그리드 셀 당 적정한 노드 수를 계산할 수 있고 분석 결과 -측보다 +측에서 0으로 접근할수록 최적의 노드 수로 선택할 수 있다. 그 이유는, 그리드 당 노드 수가 많을수록 데이터 패킷이 전송할 홉 수가 작아지나, 그리드 단위로 홉 영역으로 판단하기 때문에 그리드에 많은 노드가 있으면 네트워크에 활용되지 않는 노드가 많이 발생될 수 있어 전체 1000개 노드에서 평균적으로 한 그리드에 3개의 노드가 적정함을 보여 준다.

그림 6은 홉이 있을 때 경로의 수에 따른 데이터 전송을 위한 시그널링 오버헤드(signaling overhead)를 나타낸다. 처음에는 그리드(grid) 방식의 데이터 전송 방식은 그리드를 구성하기 위해 오버헤드가 비그리드(non-grid) 방식보다 많지만 경로의 수가 증가함에 따라 비그리드 방식인 GPSR과 HGM의 오버헤드가 제안된 방식보다 증가함을 보여준다. 다

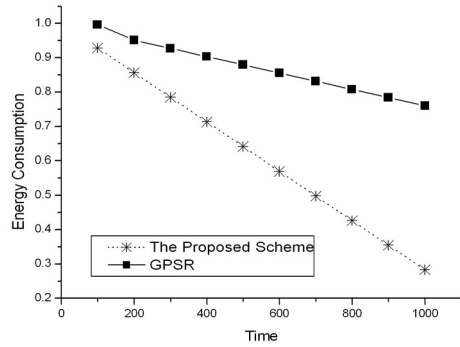


Fig. 7. Network lifetime

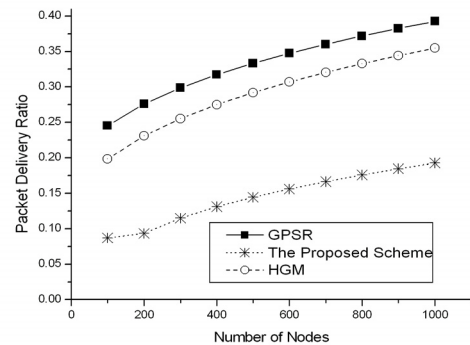


Fig. 8. Packet delivery ratio

양한 홉이 있는 네트워크에서 3개 이상의 다중경로를 구성할 시 제안된 방식이 유리함을 보여준다.

그림 7는 네트워크의 수명을 나타내며, 홉의 크기에 따라 전체 에너지 소비량도 증가한다. 폐쇄형 홉이 있을 때 HGM방식은 홉 주위에서 많은 에너지를 소비하며 경로를 구성하지 못했고, GPSR방식은 제안된 방식보다 목적지까지 거쳐야 할 홉 수가

많아 전체 에너지 소비량에서도 차이가 많이 나며 제안된 그리드 방식이 전체 에너지를 효율적으로 사용함을 보여준다. 데이터 신뢰성면에서는 상대적으로 목적지까지 홉 수가 적은 제안된 방식이 기존 방식보다 신뢰성이 높음을 그림 8의 결과에서 확인할 수 있었다. 제안된 방식은 다른 방식보다 전체 에너지 소비량도 적고 홉 수가 적어 데이터 신뢰성도 높으며 전체 네트워크의 수명도 높음을 시뮬레이션 결과로 확인할 수 있다.

V. 결 론

위치기반 라우팅 방식은 홉이 있는 불규칙한 네트워크에서 홉을 우회하기 위해 홉 주위 특정 노드

의 에너지 손실을 유발하여 홀이 확장되는 문제점을 갖고 있다. 이러한 문제점을 해소하기 위해 위치 기반의 라우팅 프로토콜의 단점을 보완한 그리드 기반의 앵커위치 설정과 그리드 내부에서 노드들 간의 동적인 헤드 노드 선택을 통한 효율적인 홀 우회 전송 방식을 제안했다. 이 논문에서 제안된 방식은 기존 방식보다 전체 에너지 소비량도 적을 뿐 아니라 목적지까지의 홉 수가 상대적으로 적어 데이터 신뢰성도 높다. 결국 전체 네트워크의 수명도 기존 방식에 비해 우수함을 시뮬레이션 결과로 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] I.F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Seonsor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, pp.102-114, Aug. 2002.

[2] B. Karp, H. Kung, "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks," *In Proc. Of the 6th Annual ACM/IEEE Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking*, pp.243-254, 2000.

[3] Q. Fang, J. Gao, and L. J. Guibas, "Locating and bypassing routing holes in sensor networks," *In Proc. of IEEE INFOCOM*, vol. 4, pp. 2458-2468, March 2004.

[4] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *IEEE Transactions on Wireless Communication*, Vol.11, Issue 6, pp.6 - 28, Dec. 2004.

[5] Ye Tian, Fucai Yu, Younghwan Choi, S. C. Park, E. S. Lee and S. H. Kim, "Energy-Efficient Data Dissemination Protocol for Detouring Routing Holes in Wireless Sensor Networks," *ICC*, Sep. 2008.

[6] Nguyen Xuan Quy, Dugki Min, Eunmi Choi, " An Energy-Efficient Data Dissemination Protocol for Grid-based Wireless Sensor Networks", *RIVF*, 2008.

[7] Nen-Chung Wang, Po-Chi Yeh, and Yung-Fa Huang, "An Energy-Aware Data Aggregation Scheme Grid-based Wireless Sensor

Networks", *IIWCMC'07*, August, 2007.

[8] Hung Le Xuan, and Sungyoung Lee, "A Coordination-based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks", *ISSNIP* 2004.

[9] L. Shu, Y. Zhang, L. T. Yang, Y. Wang, "TPGF: geographic routing in wireless multimedia sensor networks," *TelecommunicationSystem*, Vol.44, No.1-2, pp.79-95, 2010.

[10] Scalable Network Technologies, Qualnet, [online] available: <http://www.scalable-networks.com>

김 성 휘 (Sunghwi Kim)

정회원



1990년 2월 부산대학교 학사
 2000년 2월 포항공과대학교 석사
 2008년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 박사수료
 <관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, Mobility, Multicast 등

박 호 성 (Hosung Park)

정회원



2008년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
 2010년 2월 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
 2010년 3월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET 등

이 정 철 (Jeongcheol Lee)

정회원



2008년 2월 충남대학교 전기정보통신공학부 컴퓨터전공
 2010년 8월 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
 2010년 9월~현재 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> Internet Routing, Wireless Sensor Networks, MANET, Multicast 등

김 상 하 (Sang-Ha Kim)

중신회원



1980년 서울대학교 학사

1984년 University of Houston
석사

1989년 University of Houston
박사

1992년~현재 충남대학교 전기
정보통신공학부 교수

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