

무선 센서 망에서 위치 정보 기반 라우팅 홀 우회 방안

우부재^o, 최영환, 박수창, 이의신, 전야, 박호성, 김상하

충남대학교 컴퓨터공학과

{yufc, yhchoi, winter, eslee, tianye, hspark}@cclab.cnu.ac.kr and shkim@cnu.ac.kr

Routing Hole Detour Scheme Based on Geographic Routing in Wireless

Sensor Networks

Fucaí Yu^o, Younghwan Choi, Soochang Park, Euisin Lee, Ye Tian, Hosung Park and Sang-Ha Kim

Dept. of Computer Engineering, Chungnam National University

요 약

센서 망에서 비어 있는 공간(홀)은 현실의 다양한 지리적인 환경 때문에 회피하는 것이 쉽지 않다. 일반적으로 데이터 패킷이 홀 경계에 마주쳤을 경우, 목적지까지의 다른 길을 찾기 위해 라이트 핸드 법칙(right hand rule) 또는 푸쉬드 백(pushes back)을 이용하여 홀 경계를 따라 패킷을 전달한다. 한편, 라이트 핸드 룰은 홀 경계에 있는 노드들의 에너지를 더 많이 소모하므로 홀이 확장될 것이다. 또한 동시에 여러 통신 세션이 같은 홀의 경계를 공유한다면 데이터 충돌을 초래할 것이다. 이 논문에서 우리는 무선 센서 망에서의 홀 문제를 해결하기 위해 라우팅 홀 우회 방안을 제안한다. 우리의 라우팅 홀 우회 방안은 두 가지 목표를 갖는다: 하나는 데이터 패킷이 홀의 경계를 따라 이동하는 것을 방지하는 것이고, 다른 하나는 로컬 미니멈(local minimum) 문제를 피하는 것이다. 시뮬레이션 결과는 우리의 방안이 다른 프로토콜들에 비해 제어 부하와 에너지 소비 면에서 우수하다는 것을 보여준다.

1. 서 론

무선 센서 망은 일반적으로 한 장소에 무작위로 배치된 많은 양의 센서 노드들로 구성된다. 따라서 홀은 센서 노드들의 배치 과정에서 생긴 빈 공간이나, 자연 환경이 원인이 되어 파괴된 센서 노드들에 의해 생길 수 있다. 센서 망에서 홀의 경계에 위치한 노드들은 상대적으로 다른 일반적인 노드들에 비해 약하며, 그 원인은 다음과 같다: 일반 노드들은 임의의 통신 세션에서 라우터로 이용될 가능성이 비슷하다. 그러나 대부분의 위치 정보 기반 라우팅 프로토콜에서는 데이터 패킷들이 홀에 마주쳤을 때 홀의 경계를 따라 패킷을 보내는 경향이 있다. 이런 정책은 홀의 경계에 위치한 노드들을 다른 일반 노드들보다 임의의 통신 세션에서 라우터로 이용될 가능성을 높게 만든다. 따라서 홀의 경계에 위치한 노드들의 에너지가 다른 일반 노드들에 비해 빨리 고갈되면서 홀이 확장된다. 게다가 홀의 경계에 있는 노드들은 동시에 여러 통신 세션에서 공유될 가능성이 일반 노드들에 비해 높다. 그러므로 데이터 충돌이 일어날 가능성 또한 높아진다.

위치 정보 기반 라우팅[1]은 단순하고, 효과적이고, 확장성이 있는 정책으로써, 큰 센서 망에 유리한 라우팅 방안이다. 위치 정보 기반 라우팅에서는 현재 노드보다 목적지에 더 가까운 1홀 거리의 이웃에게 패킷을 전달한다. 그러나 위치 정보 기반 라우팅은 로컬 미니멈 phenomenon[1]이라 불리는 홀 문제를 가진다. 보다 명확히 말하자면, 이것은 자신보다 목적지에 가까운 곳에 위치하는 이웃 노드가 존재하지 않는 노드의 문제이다.

그림 1은 소스 S가 위치 정보 기반 라우팅을 이용하여

홀 지역을 지나 목적지 노드 D까지 데이터 패킷을 보내는 과정을 보여준다. 점선 ①은 데이터 전달 방향을 나타낸다. 데이터 패킷이 홀 경계에 있는 노드인 I에 도달했을 때, 노드 I보다 목적지 노드 D에 더 가까운 I의 이웃 노드가 없기 때문에 로컬 미니멈 문제가 발생한다. [1]에서 데이터 패킷은 점선 ②에 표시된 것처럼 라이트 핸드 룰에 의해 홀의 경계를 따라 전달된다. 점선 ②가 I에서 D로 가는 가장 짧은 경로인 것은 명백하지만, S에서 I까지의 경로를 합하면 S에서 D까지의 가장 짧은 경로는 아닐 수 있다. 게다가 다수의 통신 세션이 동시에 홀을 우회해야 한다면, 홀의 경계에 있는 노드들이 동시에 여러 통신 세션에 공유될 가능성이 높아진다. 따라서 이 노드들에 데이터 충돌이 일어날 것이다. 또한 홀의 경계에 위치한 노드들의 에너지가 망의 다른 노드들에 비해 빨리 소모되어, 홀이 확대될 가능성이 높아진다.

그림 1의 점선 ③은 S에서 D까지의 더 합당한 경로를 보여준다. 우리는 노드 U가 홀을 인식하고 있다고 가정한다. 홀을 지나기 위해서 노드 U는 데이터 패킷의 경로를 홀에 들어가기 전에 노드 V방향으로 바꿔준다. 이 경로는 다음과 같은 강점들을 갖는다: 첫째, 노드 U와 V가 적절하게 선택된다면 앞선 연구들 [1][2][3]보다 짧은 경로가 된다. 둘째, 데이터 패킷이 홀에 들어가기 전에 방향을 바꾸게 되므로 경로 재설정 과정이 필요하지 않고 [4][5]에 비해 부하를 줄일 수 있다. 셋째, 이 경로는 홀의 가장자리를 따라가지 않으므로 경계 노드들의 에너지 소모와 데이터 충돌을 상당히 줄일 수 있다. 이 논문에서 우리는 센서 네트워크 위치 정보 기반 라우팅이 당연한 라우팅 홀 문제를 해결하기 위해 라우팅 홀 기하학적 모델링을 제안한다. 무선 홀을 완벽하게 감싸는 타원을 기하학적으로 만든다. 위치 정보 기반 라우팅

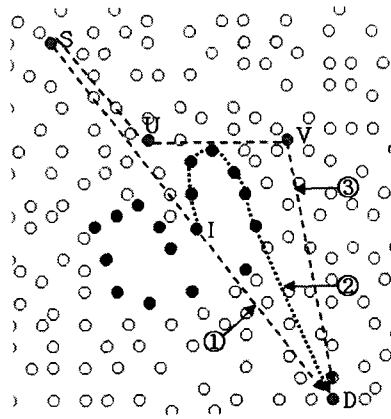


그림 1. 센서 망에서 라우팅 홀 문제의 해결 방안

을 통해 전달되는 데이터 패킷이 타원(홀이 아닌)에 속한 노드(노드 U라고 가정)에 도달하면, 노드 U는 타원의 접선 방향으로 거리 L만큼 떨어진 곳을 대리자 위치로 설정하고 데이터 패킷 경로를 재설정한다. 대리자 위치에서 지리적으로 가장 가까운 위치에 있는 노드(노드 V라고 가정)가 데이터 패킷을 수신하면, 노드 V는 위치 정보 기반 라우팅을 통해 다시 최초의 목적지로 패킷의 경로를 설정한다. 노드 U와 V의 거리 L은 프로토콜의 성능에 큰 영향을 미친다. 너무 긴 L은 데이터 전달 패스가 길어지게 만들어, 너무 짧은 L은 데이터 패킷이 타원에 다시 만나는 결과를 만들 수 있다. 적절한 L을 정의하는 방법은 이 논문의 또 다른 논점이다.

이후 논문의 구성은 다음과 같다: 2단원에서는 라우팅 홀을 타원으로 모델링 하는 방법을 설명한다. 3단원에서는 라우팅 홀 기하학적 모델링을 기반으로 하는 데이터 전달 방안을 기술한다. 4단원에서는 라우팅 홀 기하학적 모델링의 성능을 분석하고, 5단원에서는 논문의 결론을 내린다.

2. 라우팅 홀 기하학적 모델링

우리는 이 연구에서 각각의 노드가 GPS나 다른 위치 정보 서비스를 이용하여 자신의 위치와 1홉 거리의 이웃 노드들의 위치 정보를 알 수 있다고 가정한다. 위상으로는 무선 노드들이 비행기를 통해 대략적으로 뿌려진 장소를 생각한다. 소스와 목적지는 움직일 수 있지만 다른 모든 센서 노드들은 고정되어 있다. 마지막으로 소스는 패킷의 목적지 위치를 미리 알고 패킷에 기록할 수 있다.

그림 2는 라우팅 홀 기하학적 모델링 과정을 보여준다. 노드는 [2]에서 제안된 방안으로 자신이 홀의 경계에 위치하는지 아닌지를 인지할 수 있다. 최초로 라우팅 홀을 발견한 노드는 잘 알려진 라이트 핸드 룰[6]을 사용하여 홀의 경계를 따라 Hole Boundary Detection (HBD) 패킷을 전송한다. HBD 패킷의 임무는 홀의 경계에 있는 모든 노드들의 위치 정보를 밝혀내는 것이다.

$(x_0, y_0), (x_1, y_1) \dots (x_n, y_n)$ 의 좌표를 가진 노드 $B_0, B_1 \dots B_n$ 가 홀의 경계에 있다고 가정한다. 그림 2-1에서 볼 수 있듯이, node B_0 가 최초로 자신이 홀의 경계에 위치한다는 것을 인지했다. B_0 는 HBD 패킷을 만들어 자신의 아이디를 기록하고 라이트 핸드 룰을 따라 마한가지로 홀 경계 노드인 B_1 에게 전송한다. 노드 B_1 은 수신한 HBD 패킷에 자신의 위치 정보를 삽입하고, 역시 라이트 핸드 룰에 따라 노드 B_2 에게 전송한다. 이 과정은 HBD 패킷이 홀의 주위를 순회하고 결국 최초의 노드인 B_0 에 도착할 때까지 반복된다. 노드 B_0 는 수신한 HBD 패킷으로부터 모든 홀 경계 노드들의 위치 정보를 받는다. 다음으로 노드 B_0 는 $\{B_0, B_1 \dots B_n\}$ 에서 임의의 두 노드 사이의 거리를 측정했을 때 가장 멀리 떨어져 있는 두 노드인 B_p 와 B_q 를 선택한다. 그 후에 노드 B_0 는 B_p 와 B_q 를 직선으로 연결했을 때 $\{B_0, B_1 \dots B_n\}$ 중에서 그 직선으로부터 직각이 되는 거리로 가장 멀리 떨어져 있는 두 노드인 B_j 와 B_k 를 선택한다. 노드 B_0 는 노드 B_p, B_a, B_j, B_k 를 통해 직사각형을 얻는다. 그리고 그림 2-2에서 보여주는 것처럼 네 모서리의 각을 이등분하는 선을 긋고 네 개의 선이 만나는 두 점인 F_1 과 F_2 를 찾는다. F_1 과 F_2 의 좌표는 각각 $(x_{f1}, y_{f1}), (x_{f2}, y_{f2})$ 이다. 다음으로 노드 B_0 는 $\{B_0, B_1 \dots B_n\}$ 중에서 하나의 노드로부터 F_1 까지의 거리 그리고 F_2 까지의 거리의 합이 가장 큰 노드인 B_m 를 선택한다. 즉, 직선 $\overline{B_m F_1}$ 과 직선 $\overline{B_m F_2}$ 의 합이 최대가 되도록 하는 노드 B_m 를 찾는 것이다. 두 직선의 합을 $2a$ 라고 가정하면, 타원의 정의 공식에 따라 B_0 는 다음과 같은 하나의 타원을 정의 할 수 있다.

$$\sqrt{(x-x_{f1})^2+(y-y_{f1})^2}+\sqrt{(x-x_{f2})^2+(y-y_{f2})^2}=2a, \quad (1)$$

a 는 타원의 반장축이다. 그림 2-2에서 F_1 과 F_2 의 거리가 $2c$ 라고 하면, 타원의 특성에 따라 다음과 같이 타원의 반단축을 구할 수 있다.

$$b = \sqrt{a^2 - c^2}, \quad (2)$$

이 타원은 틀림없이 홀을 모두 감싸는 것을 알 수 있다. 이후 노드 B_0 는 타원의 모든 정보를 포함하는 Ellipse Distribution (ED) 패킷을 만들어 타원에 속하는 모든 노드들에게 전송한다. 그림 2-4가 나타내는 것처럼 이제 타원 위의 모든 노드들은 타원을 알고 있다.

3. 라우팅 홀 기하학적 모델링 기반 데이터 전달

2단원에서는 라우팅 홀 전체를 감싸는 타원을 모델링 하는 방법을 설명했다. 타원을 정의하는 목적은 데이터 패킷이 타원 안으로 들어가지 못하도록 예방하는 것에 있다. 이번 단원에서는 라우팅 홀 기하학적 모델링을 기반으로 하는 데이터 전달 과정을 소개한다.

그림 3에서는 다른 모든 센서 노드들을 무시하고, 라우팅 홀 기하학적 모델링에 의해 그려진 타원과 데이터 전달 경로만을 표현했다. 소스 노드 S는 데이터 패킷을

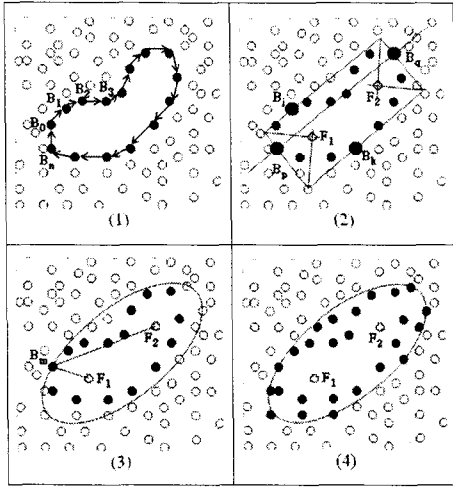


그림 2. 라우팅을 기하학적 모델링 과정

만들어 위치 정보 기반 라우팅을 이용하여 목적지 노드 D에게 전달한다. 각각의 데이터 패킷 헤더는 대리자 위치 항목과 플래그 항목을 포함한다. 플래그 항목은 현재 패킷이 목적지 지향 모드인지 대리자 지향 모드인지를 나타낸다. 모든 패킷은 소스에 의해 초기화 될 때, 목적지 지향 모드로 설정되며 대리자 위치 항목은 비워 놓는다. 소스는 또한 데이터 패킷의 목적지 주소 항목에 목적지의 위치 정보를 삽입한다. 목적지 주소 항목은 소스에 의해서만 설정되며 망을 통해 전달되는 동안 변경되지 않는다.

그림 3에서, 소스 노드 S는 위치 정보 기반 라우팅을 이용하여 직선 \overline{SD} 를 따라 목적지 노드 D로 데이터패킷을 전송한다. 노드는 2단원에서 설명했던 ED 패킷을 수신했는지의 여부에 따라 자신이 타원에 속하는지를 알 수 있다. 타원의 경계에 위치하는 노드가 데이터 패킷을 수신하면, 해당 노드는 데이터 패킷을 대리자 지향 모드로 전환하고 자신의 위치, 목적지 노드의 위치 그리고 타원의 정보로 대리자의 위치를 계산하여 대리자 위치 항목에 삽입한다. 그 다음으로 위치 정보 기반 라우팅을 이용하여 계산된 대리자 위치 값에 지리적으로 가장 가까운 노드를 대리 노드로 정하고 데이터 패킷을 전송한다. 대리 노드는 데이터 패킷을 수신하면, 패킷을 목적지 지향 모드로 전환하고 대리자 위치 항목을 다시 비운다음 위치 정보 기반 라우팅을 이용해 최초의 목적지로 전송한다.

문제는 대리자의 위치를 계산하는 방법이다. 우리는 타원의 점점 U의 점선 위에 대리자의 위치를 정하는 방안을 제시한다. 그림 3에서 V는 패킷을 목적지 D로 보내기 위한 U의 대리자 위치이다. 직선 \overline{UV} 는 타원의 점점 U의 점선이다. 노드 U는 직선 \overline{UV} 의 길이 L을 알 수 있다면 V의 위치를 계산할 수 있다. 노드 U는 다음의 공식으로 L을 계산한다.

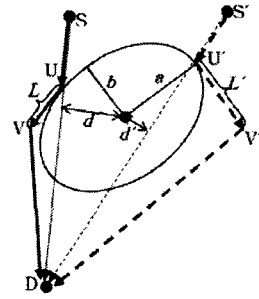


그림 3. 라우팅을 기하학적 모델링 기반 데이터 전달 과정

$$L = \sqrt{a \cdot b}(1 + \alpha) - d, \quad 0 \leq \alpha \leq 1, \quad (3)$$

a는 타원의 반장축이고, b는 타원의 반단축이며, d는 타원의 중심과 직선 \overline{UD} 의 수직 거리이다. α 는 시스템이 설정하는 균형을 위한 매개변수이다. 노드 U는 자신의 위치와 타원의 모든 정보를 알고 있으며(ED 메시로부터), 수신한 데이터 패킷으로부터 목적지 D의 위치 정보를 알 수 있다. 그러므로 노드 U는 d를 계산할 수 있다(d의 계산법은 이 논문에서 언급하지 않는다). 이제, 노드 U는 L 값을 계산하여 V의 위치 정보를 알아낼 수 있다.

4. 성능 분석

이 단원에서는 시뮬레이션을 통해 라우팅을 기하학적 모델링의 성능을 측정한다.

4.1 시뮬레이션 환경 및 요소

우리는 네트워크 시뮬레이터 QualNet 3.8로 라우팅을 기하학적 모델링을 실행했고 MAC 계층 프로토콜로 IEEE 802.11을 선택했다. 전송 범위는 150m이다. 센서망의 크기는 2000*2000m²이며, 10,000개의 노드가 무작위로 뿌려졌다. 노드간의 평균거리는 20m이다. 우리는 망에 수동으로 범위가 대략 400*200m², 300*200m², 200*200m²인 세 개의 라우팅을 만들었다. 5개의 소스들과 5개의 목적지 노드들이 0m/s~2m/s 범위에서 임의의 속도로 움직인다. 그리고 목적지 위치는 대응하는 소스가 미리 알고 있다. 각각의 시뮬레이션 시간은 1000초이다.

우리는 라우팅을 기하학적 모델링의 성능을 측정하기 위해 세 가지 요소를 사용했다. 패킷 전송률은 소스가 생성한 데이터 패킷 개수에 대한 성공적으로 전송된 데이터 패킷 개수의 비율이다. 제어 부하는 시뮬레이션 시간동안 생성된 제어 패킷의 개수이다. 에너지 소모는 라우팅을 주위의 노드들의 종합적인 에너지 소모량이다.

4.2 시뮬레이션 결과

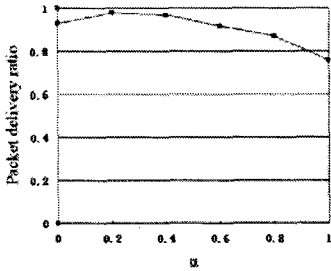


그림 4. α 에 따른 패킷 전송률

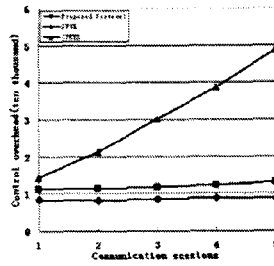


그림 5. 통신 세션의 개수에 따른 제어 부하

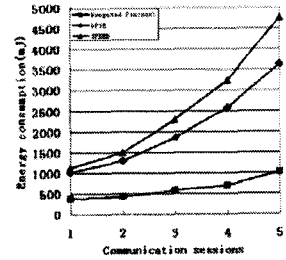


그림 6. 통신 세션 개수에 따른 에너지 소비

4.2.1 라우팅 효율 기하학적 모델링의 효과: 그림 4는 (3)의 α 에 따른 패킷 전송률을 보여준다. 우리는 α 가 L 의 길이에 영향을 주어 대리자의 위치 선정에도 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 짧은 L 은 데이터 패킷이 타원으로 기하학적 모델링된 라우팅 효율에 지나치게 가깝게 지나가도록 하거나 또는 다시 타원에 마주치도록 만들 수도 있다. 긴 L 은 소스에서 목적지까지의 전체 경로를 증가시킬 수 있다. 그림 4에서 데이터 전송률은 α 가 0에서 0.2로 증가함에 따라 같이 증가한다. 우리의 시뮬레이션에서는 5개의 소스가 동시에 5개의 목적지로 데이터 패킷을 전송한다. α 가 0에 가까울수록 5개 세션의 모든 데이터 전송 경로가 타원으로 기하학적 모델링된 라우팅 효율에 가깝기 때문에 데이터 충돌이 일어날 가능성이 크다. 그러므로 타원 근처의 노드들에서 일어나는 데이터 충돌 때문에 데이터 전송률이 떨어진다. 그러나 α 가 0.4 이상인 경우는 α 가 커질수록 데이터 전송률이 줄어든다. 그 이유는 α 가 증가할수록 데이터 충돌 가능성은 적어짐에도 불구하고 데이터 패킷 경로의 길이가 증가하기 때문이다. 실제로 α 의 설정은 노드의 밀집도, 망 잔여 에너지의 분포 등 망 상태에 밀접하게 관련되어 있다.

4.2.2 다른 프로토콜과의 성능 비교: 여기에서는 통신 세션을 개수를 달리하면서 라우팅 효율 기하학적 모델링을 패킷 전송률, 평균 전송 지연, 에너지 소모, 제어 부하 면에서 두 프로토콜 GPSR, SPEED와 비교한다. 그림 5는 세 프로토콜의 제어 부하를 보여준다. GPSR은 데이터 패킷을 순수하게 위치 정보에 따라 전달한다. 모든 노드들이 비콘 메시지를 통해 이웃 노드들에게 위치 정보를 갱신해야 한다. 이 위치 갱신 방안은 통신 세션의 개수와 관계가 없다. 따라서 통신 세션의 증가가 제어 부하에 거의 영향을 미치지 않는다. GPSR과 비교했을 때, 우리의 방안은 추가적인 타원 구성 과정이 포함된다. 그러나 이 논문에서는 모든 노드들이 고정되어 있다고 가정하기 때문에 타원 구성 과정 또한 통신 세션 개수의 증가와 관계가 없다. 실제로 타원 구성에 의해 생기는 부하는 센서 망에서 라우팅 효율의 크기와 개수에 밀접한 관련이 있다. SPEED는 데이터 패킷을 전달하기 위한 빠른 경로를 찾는 것에 초점을 두기 때문에 빠른 경로를 찾는 과정에서 추가적인 부하가 발생한다. 이 빠른 경로를 찾는 과정은 통신 세션의 개수와 밀접한 관련이 있

다. 게다가 라우팅 효율 근처의 노드들에서 데이터 충돌이 발생하기 때문에, SPEED는 데이터 패킷을 전달하기 위한 다른 빠른 경로를 찾아야 한다. 이 경로 재설정 과정은 통신 세션의 개수가 증가함에 따라 일정하게 증가한다. 따라서 SPEED의 제어 부하는 다른 두 프로토콜에 비해 통신 세션의 증가에 따라 심각하게 증가한다. 그림 6은 라우팅 효율 경계 노드들의 전체 에너지 소비를 보여준다. GPSR과 SPEED는 라우팅 효율을 만났을 때 데이터 패킷을 목적지에 보내기 위해서 라이트 핸드 효율을 사용한다. 다시 말해 소스와 목적지 사이에 라우팅 효율이 존재하는 한 데이터 패킷을 효율의 경계를 따라 보내야 한다. 따라서 GPSR과 SPEED는 라우팅 효율의 경계에 위치한 노드들의 에너지 소비가 상당히 높다. 우리가 방안에서는 데이터 패킷이 타원을 만났을 때 대리자 위치로 경로가 바뀐다. 이 방법으로 데이터 패킷이 효율의 경계를 따라 전달되는 것을 방지한다. 따라서 라우팅 효율 경계에 위치한 노드들의 에너지 소비를 줄이고 효율의 확산을 막는다. 또한 대리자의 위치는 소스와 목적지의 위치와 관계가 깊다. 이것은 효율 근처의 데이터 전달 경로가 소스와 목적지 위치의 변화에 따라 달라진다는 것을 의미한다. 이 방안은 또한 효율 근처 노드들의 에너지 소비가 균형이 잡히도록 도와준다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

이 논문에서 우리는 센서 망에서의 라우팅 효율 문제를 해결하기 위해 효율을 타원으로 모델링하는 라우팅 효율 기하학적 모델링을 제안했다. 이 방안은 두 가지 장점이 있다: 하나는 데이터 패킷이 라우팅 효율 지역에 들어가는 것을 예방함으로써 경로 재발견 부하를 줄이는 것이고, 또 다른 하나는 에너지 소비와 라우팅 효율 주변에서의 데이터 충돌을 줄이는 것이다. 시뮬레이션 결과는 (3)에서의 시스템 매개변수 α 가 라우팅 효율 기하학적 모델링의 성능에 상당한 영향을 미친다는 것을 보여준다. 실제 환경에서 α 는 센서 망의 에너지 분포와 노드의 밀도에 의해 정해져야 한다. 적절한 α 를 정하는 방법에 대한 문제는 향후 연구 방향으로 남겨둔다.

참고 문헌

- [1] Karp B, Kung H. 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] Q. Fang, J. Gao, und L. J. Guibas, "Locating and bypassing routing holes in sensor networks". In INFOCOM 2004, vol.4, March 2004 pp.2458-2468
- [3] P. Bose, P. Morin, I. Stojmenovic, and J. Urrutia. "Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks", In Proceedings of the 3rd International Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mobile Computing and Communications (DIALM'99), 1999, pp.48-55.
- [4] 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.
- [5] D. S. J. De Couto and R. Morris, "Location proxies and intermediate node forwarding for practical geographic forwarding," Tech. Rep. MIT-LCS-. TR-824, MIT Laboratory for Computer Science, June 2001
- [6] J.A. Bondy and U.S.R. Murty, Graph Theory with Applications (Elsevier North-Holland, 1976).