

무선 센서 네트워크에서 무선 반경을 고려한 에너지 효율적인 페이스 라우팅 프로토콜

조현중*, 김상대*, 김천용*, 김상하*, 황치정^o

Energy-Efficient Face Routing Protocol Considering Radio Range in Wireless Sensor Networks

Hyunchong Cho*, Sangdae Kim*, Cheonyong Kim*, Sang-Ha Kim*, Chi-Jung Hwang^o

요약

무선 센서 네트워크에서 위치 기반 라우팅은 위치 정보를 이용하여 데이터 메시지를 전달하기에 효과적인 방법으로 알려져 있다. 위치 기반 라우팅에서 대표적인 그리디 포워딩이 불가능할 경우, 페이스 라우팅이 복구 수단으로 쓰이고 있다. 페이스 라우팅은 교차된 연결들을 제거한 평면 그래프를 바탕으로 구성되며 이는 가장 가까운 이웃 노드들의 연결을 제외한 나머지 연결들은 모두 제거됨을 의미한다. 하지만 페이스 라우팅은 무선 반경을 고려하지 않아 한 홉 범위 안에서 멀리 갈 수 있는 링크들이 존재하더라도 평면 그래프의 규칙에 의해 짧은 링크들을 선택한다. 이것은 밀집된 지역에서 페이스 라우팅을 쓰일 경우 에너지 효율성을 저하시킨다. 본 논문에서는 평면 그래프에서 제거된 링크들을 찾고 이용할 수 있는 프로토콜을 제안한다. 본 프로토콜은 작은 크기의 컨트롤 메시지와 함께 무선 반경에서 제거된 링크를 찾는다. 시뮬레이션을 통해 제안 방안이 이전 페이스 라우팅 프로토콜보다 에너지 효율성이 높음을 보인다.

Key Words : wireless sensor networks, hole problem, face routing, greedy forwarding, energy efficiency

ABSTRACT

In wireless sensor networks, geographic routing is known as an efficient method to transmit the data packet using the location information. Geographic routing relies on two techniques: greedy forwarding and face routing. Face routing helps to recover from greedy routing fail and is based on the planar graph in which does not cross each edge. However, the planarization causes frequently short transmission of data packet because it removes other edges except the shortest one. In other words, since the planarization removes the long edges, face routing could not exploit the efficient removed edges of communication graph. This problem brings about the excessive energy consumption of nodes. In this paper, we propose an energy efficient face routing protocol in wireless sensor networks. This proposed protocol searches the removed edges and transmits them via the edges. Simulation shows that the proposed protocol is more efficient in terms of energy consumption than the previous face routing.

* 본 연구는 2014년도 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었습니다.

• First Author : Chungnam National Univ. Department of Computer Engineering, hccho@cclab.cnu.ac.kr, 학생회원

◦ Corresponding Author : Chungnam National Univ. Department of Computer Engineering, cjhwang@cnu.ac.kr, 정회원

* 충남대학교 컴퓨터 공학과 {sdkim, cykim}@cclab.cnu.ac.kr

논문번호 : KICS2015-04-118, Received April 8, 2015; Revised June 10, 2015; Accepted June 10, 2015

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 통신 가능한 다수의 센서 노드로 구성되어 있다^{1,3}. 센서 노드들은 제한된 메모리, 에너지, 수행 능력을 가지고 있으며 감지된 정보를 계산 및 분석한다. 위치 기반 라우팅은 무선 센서 네트워크에서 대표적인 라우팅 방법으로서 전체적인 망 정보를 사용하지 않고 센서 노드들의 위치 정보만을 사용하여 데이터를 전달한다^{4,5}. 위치 기반 라우팅은 에너지 측면에서 효율적이고 확장성이 좋은 라우팅 방법으로 인식되고 있다. 위치 기반 라우팅은 주변 노드들의 정보만 이용하며 기존의 방법보다 에너지 효율성이 높다. 위치 기반 라우팅 방법 중 주변 이웃 노드들을 이용하여 목적지에 더 가까운 노드를 선택하여 데이터를 전달하는 그리디 라우팅 (Greedy Routing) 방법이 있다⁶.

무선 센서 네트워크 특성상 수많은 센서 노드들이 넓은 지역에 임의로 배치되어 전체적으로 고르게 분포되지 않는다. 즉, 일부 지역은 센서 노드들이 밀집되게 배치되지만 다른 일부 지역은 노드가 고장 나거나 호수, 빌딩과 같은 지형적 요인으로 인해 통신이 불가능한 지역인 음영 지역 (Void area)이 생기게 된다⁷⁻¹⁰. 음영지역에서 그리디 라우팅으로 데이터를 전달할 경우, 목적지에 가까운 이웃 노드가 존재하지 않아 선택할 수 없게 되어 데이터를 전달하지 못한다.

위치기반 라우팅 방법이 음영 문제로 그리디 라우팅을 실패할 경우, 페이스 라우팅 (Face Routing)을 위치 기반 라우팅의 복구 수단으로 사용하고 있다^{16,11-13}. 페이스 라우팅은 한 홉 범위의 이웃 노드들만 고려하는 그리디 라우팅과 달리 평면 그래프 기반의 라우팅을 하기 때문에 음영 문제에 영향을 받지 않고 데이터를 전달할 수 있다. 그리고 평면 그래프 기반의 페이스 라우팅은 라우팅 루프 회피를 보장하기 때문에 효과적이다. 라우팅 루프 현상이란, 페이스 라우팅을 시작한 노드가 목적지 노드에게 메시지를 전송을 시도하지만 일정 지역을 벗어나지 못하여 메시지가 전달되지 못하는 현상을 의미한다. 라우팅 루프 현상이 생기는 이유는 구성된 그래프의 상태를 고려하지 않고 노드들에 대한 링크들을 단순히 연결시켰기 때문이다. 이 때문에 페이스 라우팅이 진행되기 전, 평면 그래프를 먼저 구성한 다음 이를 기반으로 메시지를 전달한다. 평면 그래프 구성 방법은 그래프 상에서 가장 짧은 링크만 남기고 나머지 링크는 모두 제거한다. 이 제거 방법으로 평면 그래프를 사용한 페이스 라우팅은 라우팅 루프 현상을 피할 수 있다.

하지만 페이스 라우팅은 평면 그래프를 기반으로 하기 때문에 효율적인 다른 링크들이 존재하더라도 페이스 라우팅 규칙에 맞지 않으면 그 링크는 고려하지 않는다. 즉, 그래프의 평면화 단계에서 제거된 경로는 사용될 수 없다. 그리디 라우팅처럼 데이터를 전송할 때 무선 반경 내에서 목적지에 가장 근접한 노드를 선택하여 전체 전송 홉 수를 줄이는 것이 이상적인 방법이지만, 페이스 라우팅은 노드의 무선 반경을 고려하지 않고 페이스 라우팅의 룰의 의해 탐색된 이웃 노드들만 선택한다. 이는 목적지로 데이터를 전달하는데 효율적인 최단 경로를 선택하지 못하게 되어 데이터 전송 횟수가 증가되고 결국 에너지 소모량이 증가되는 문제가 생긴다. 더 나아가 페이스 라우팅은 노드의 밀집도가 크거나 전송해야 하는 데이터 크기가 클수록 노드들의 에너지 소모량이 더욱 증가하게 된다.

그림 1은 노드들의 페이스 라우팅으로 데이터 메시지를 전달하기 전 평면 그래프를 표현한 상태이다. 그림 1의 노드 x가 음영 지역을 만났다면 평면 그래프를 그려서 그래프 상에서 다음 홉 노드인 노드 y를 찾아서 데이터를 전달하게 된다. 이후 노드 y는 노드 z를 선택하고, 노드 z는 노드 k를 선택하면서 데이터를 전달하게 된다. 이러한 방법은 한 노드의 무선 반경 내에서 여러 홉에 걸쳐서 데이터를 전송하게 되는 문제를 발생시킨다. 즉, 노드 x가 자신의 무선 반경 내에 있는 k를 직접 선택하기 못하기 때문에 여러 홉을 걸쳐서 데이터가 전송되게 된 것이다. 이것은 그래프가 평면화 단계를 거치면서 x-k 링크를 제거되었기 때문이다. 페이스 라우팅은 평면 그래프를 기반으로 하기 때문에 위와 같은 문제를 발생시킨다.

본 논문은 노드가 밀집된 지역에서 평면 그래프의 규칙으로 제거되었던 노드들의 링크들 중 무선 반경

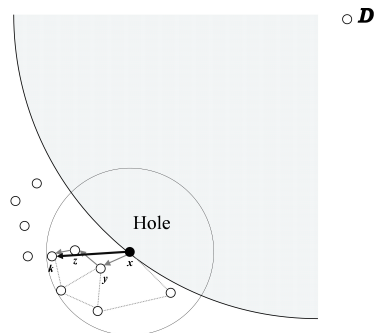


그림 1. 페이스 라우팅으로 전송하는 방법($x \rightarrow y \rightarrow z \rightarrow k$)과 노드 x에서 직접적으로 노드 k에게 전송하는 방법($x \rightarrow k$)
Fig. 1. The method of face routing ($x \rightarrow y \rightarrow z \rightarrow k$) and the direct transmission from node x to node k ($x \rightarrow k$)

범위에서 최대한 멀리 갈 수 있는 링크를 탐색하여 복구 및 사용함으로써 에너지 효율성을 향상할 수 있는 프로토콜을 제안한다. 기존 페이스 라우팅과 같이 메시지를 전달하기 전 평면 그래프를 구성한 후, 작은 크기의 컨트롤 메시지로 그림 1의 노드 k 와 같이 한 홉 범위 내에 가능한 이웃 노드가 있는지 미리 확인하면서 페이스 라우팅을 한다. 데이터 메시지를 가진 노드의 한 홉 무선 반경 범위에서 가장 멀리 갈 수 있는 이웃 노드가 선정되면 데이터 메시지를 가진 노드는 선정된 이웃 노드에게 데이터 메시지를 직접 전송한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문과 관련된 기존 연구를 보여주고, 3장에서는 제안하고자 하는 프로토콜을 설명한다. 4장에서는 제안한 프로토콜에 대한 시뮬레이션을 보여주고, 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)^[6]

위치 기반 라우팅의 대표적인 프로토콜인 GPSR은 크게 그리디 모드 (Greedy mode)와 퍼리미터 모드 (Perimeter mode)로 구성되어 있다. 그리디 라우팅은 메시지를 전달하려는 노드가 무선 반경에 있는 이웃 노드들의 위치를 알면 위치적으로 목적지에 가장 가까이 있는 이웃 노드를 선택할 수 있는 라우팅 방법이다. 하지만, 그리디 라우팅이 데이터 메시지를 전달하는 중 라우팅이 불가능한 음영 지역을 만났을 때 퍼리미터 모드를 사용함으로써 음영 지역을 우회함으로써 데이터 전송을 가능하게 한다. 퍼리미터 라우팅 중에서 페이스 라우팅은 모든 링크들이 교차되지 않는 평면 그래프와 함께 쓰인다. 페이스 라우팅은 그리디 라우팅과 달리 평면 그래프로 만들어진 페이스들을 따라 데이터 메시지를 전달한다.

2.2 GOAFR (Greedy Other Adaptive Face Routing)^[14]

페이스 라우팅을 시작한 노드 s 에서 목적지 노드 t 까지 이어진 st 선을 만들고 해당 st 선과 교차된 페이스를 따라가는 페이스 라우팅의 종류 중 하나로써 현재의 페이스 지역을 완벽하게 탐색한 다음 탐색된 페이스 라우팅의 경로로 된 노드 중에서 목적지 노드 t 에 가장 가까운 노드를 선택하여 해당 노드 방향으로 페이스 라우팅을 재시작한다. 이처럼 GOAFR은 평면 그래프의 경로 중 목적지 노드 방향의 효율적인 페이스 라우팅 경로가 존재하면 해당 페이스 라우팅 경로

로 전달하는 방법이다. GOAFR은 평면 그래프의 구성에 따라 기존 페이스 라우팅이 지나가는 경로와 같거나 다른 페이스 라우팅 경로로 이동할 수 있다.

2.3 평면 그래프 구성 방법^[12,13]

평면 그래프는 페이스 라우팅이 시작하기 전에 미리 구성되어야 한다. 잘 알려져 있는 평면 그래프 구성 방법은 다음과 같다.

1) Gabriel graph (GG) - 그림의 2-(i)처럼 노드 x 와 노드 y 를 잇는 선을 지름으로 하여 원을 그린다. 그려진 원 안에 이웃 노드가 하나도 없는 상태의 그래프를 의미한다.

2) Relative neighborhood graph (RNG) - 그림의 2-(ii)처럼 노드 x 와 노드 y 를 잇는 선을 반지름으로 하여 각각 원을 그려서 원 두 개를 만든다. 원 두 개가 겹쳐있는 영역에 이웃 노드가 하나도 없는 상태의 그래프를 의미한다.

3) Localized Delaunay triangulation (LDT) - 각 노드들은 각자의 이웃 노드들로 들로네 (Delaunay) 삼각 측량을 계산한다. 그림의 2-(iii)처럼 노드 x , 노드 y , 노드 z 로 이루어진 들로네 삼각형에 이웃 노드가 하나도 없는 상태의 그래프를 의미한다.

평면 그래프를 위의 방법으로 만들어야 하는 이유는 패킷을 전송할 때 방해되는 라우팅 루프 현상을 피하기 위해서이다. 평면 그래프 구성 방법에서 쓰이는 GG, RNG, LDT 등은 유닛 디스크 그래프 (Unit disk graph)에서 짧은 링크를 제외한 나머지 링크들을 제거하기 때문에 라우팅 루프 현상을 피할 수 있다.

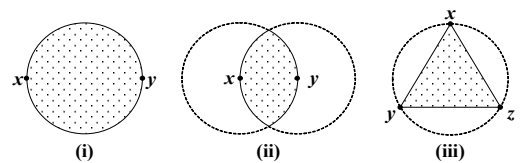


그림 2. 평면 그래프의 구성 방법:
Fig. 2. Construction of planar graph: (i) Gabriel graph (GG); (ii) Relative neighborhood graph (RNG); (iii) Localized Delaunay triangulation (LDT)

III. 제안 프로토콜

3.1 메시지

본 논문에서 제안하는 프로토콜에서 사용되는 메시

지는 다음과 같이 두 종류로 나뉜다.

3.1.1 컨트롤 메시지 (Control message)

컨트롤 메시지는 데이터를 실지 않은 매우 작은 크기의 패킷을 말한다. 컨트롤 메시지는 매우 작은 크기를 갖기 때문에 제안 프로토콜의 전송비용을 줄일 수 있다. 만약 컨트롤 메시지가 데이터 메시지 크기와 비슷하다면 데이터 메시지 비용과 유사하게 되어 노드에 대한 에너지 소모율이 증가한다. 제안 프로토콜의 에너지 효율성을 고려하기 위해 컨트롤 메시지는 전달하고자하는 데이터 메시지보다 매우 작은 크기를 갖는다. 그래프 상에서, 보낼 데이터를 가진 노드를 노드 S라 가정하고 노드 S의 한 홉 범위에 있는 노드들을 이웃 노드들이라고 가정한다. 제안하는 프로토콜에서 컨트롤 메시지는 다음과 같이 두 가지 용도로 사용된다.

(1) 컨트롤 탐색 메시지 (Control search message): 페이스 라우팅이 시작되면 평면 그래프로 인해 노드 S에서 제거된 링크를 탐색하는 메시지이다. 컨트롤 탐색 메시지는 데이터 메시지를 가진 노드의 위치 정보를 가지고 있다. 해당 메시지는 페이스 라우팅의 규칙에 따라 다음으로 선택할 이웃 노드를 계속 찾는다. 해당 메시지가 탐색 도중 노드 S의 이웃 노드 정보를 갖고 있지 않으면 탐색을 중지한다.

(2) 컨트롤 확인 메시지 (Control verification message): 컨트롤 탐색 메시지가 다음으로 선택할 이웃 노드를 찾았을 때 노드 S에게 보내는 확인 메시지이다. 즉, 페이스 라우팅으로 찾은 이웃 노드가 노드 S에 속해 있는지 확인하기 위해 보내는 메시지이다. 노드 S가 한 홉 범위 바깥 정보가 담긴 컨트롤 확인 메시지를 받게 되면 노드 S는 컨트롤 확인 메시지를 보낸 이웃 노드에게 데이터를 가진 메시지를 보낸다.

3.1.2 데이터 메시지 (Data message)

데이터 메시지는 노드 S로부터 생성된 메시지로 목적지 노드에게 전달해야 할 실질적인 데이터 메시지이다. 데이터 메시지는 컨트롤 메시지에 비해 데이터 크기가 크다. 예를 들어 멀티미디어 센서 네트워크에서 사용하는 경우 응용에 따라 데이터 크기가 증가한다^[15]. 또한 센서 네트워크 특성 중 하나로 에너지와 자원을 절약하기 위해 수집된 데이터를 하나의 노드에 중합 (Aggregation)하여 목적지에 메시지를 전송하는 경우도 존재한다^[16]. 이 때문에 중합된 데이터 메시지를 전송 시 컨트롤 메시지보다 에너지 소비가 크다.

기존의 페이스 라우팅으로 다음 노드를 탐색 후 바로 데이터 메시지를 보내는 방법과 달리, 제안 방법은 데이터 메시지를 전송하기 전 컨트롤 확인 메시지를 통해 데이터 메시지 전송 링크를 확인한다. 컨트롤 메시지 확인 중에 자신의 이웃 노드가 아님을 확인한 메시지를 받게 되면 그 즉시 컨트롤 확인 메시지를 보낸 이웃노드에게 바로 데이터 메시지를 보낸다. 이는 데이터 메시지를 가진 노드 S가 이웃 노드 중 가장 멀리 있는 노드를 찾음을 의미한다.

3.2 제안 프로토콜

본 논문의 프로토콜은 페이스 라우팅이 시작할 때부터 시작한다. 페이스 라우팅이 시작되면 기존 페이스 라우팅처럼 출발 노드를 기점으로 평면 그래프를 만든다. 평면 그래프를 만들 때 GG나 RNG, LDT 등 가장 짧은 링크들만 선택하여 만들어 라우팅 루프 현상을 피할 수 있게 만든다. 평면 그래프가 완성되면 페이스 라우팅에서 쓰이는 우수법 (Right-hand rule)을 통해 다음으로 선택될 이웃 노드를 찾는 다음 컨트롤 탐색 메시지를 보낸다. 그 다음 컨트롤 확인 메시지로 노드 S로부터 무선 환경 내에 있는지 확인 후 데이터 메시지를 전송하는 방식으로 되어 있다.

예를 들어 그림 3처럼 GG나 RNG, LDT 등의 방법으로 평면 그래프가 작성되어 있고 페이스 라우팅을 시작한 노드가 A라 가정한다. 노드 A 주변에는 노드 B, C, D, E, F, S 총 6개의 이웃노드가 있다. 제안 방안에서 노드 A가 활동하는 규칙을 의사 코드 (Pseudo code)로 나타내면 다음과 같다.

Node A:

```
if (void area & receive the data message) then
  if (search the candidate node) then
```

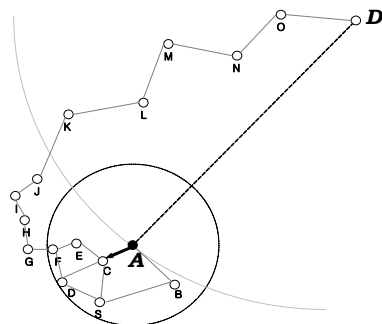


그림 3. 노드 A는 페이스 라우팅으로 탐색된 노드 C에게 컨트롤 탐색 메시지 전송
Fig. 3. Node A sends to Node C detected by the control search message

- send the control search message to candidate node
- wait the control verification message with the temporary timer
- ...

노드 A는 페이스 라우팅 방법을 사용하여 다음으로 선택할 이웃 노드 C를 찾는다. 이전 연구의 페이스 라우팅의 경우, 바로 데이터 메시지를 보내고 이웃 노드 C를 기준으로 평면 그래프를 만든 다음 데이터 메시지를 전달할 노드를 찾는다. 하지만 제안 방안은 의사 코드에서 표현한 것처럼 이전 방안과 다르게 데이터 메시지를 보내지 않고 컨트롤 탐색 메시지를 먼저 보내어 이웃 노드 C에게 탐색 작업을 하게 한다. 그 다음, 코드에서 나온 것처럼 노드 A는 이웃 노드들로부터 컨트롤 확인 메시지를 확인하기 위해 일시적인 타이머와 함께 대기한다.

그림 4는 페이스 라우팅을 시작한 노드 A에서 탐색 후 컨트롤 탐색 메시지를 노드 C에게 전달한 상태이다. 해당 부분을 의사 코드로 나타내면 다음과 같다.

```

Node C:
if (receive the control search message) then
- Compare the neighbor node list of node C
  with information of control search message
if (is neighbor node list) then
- send the control search message to this
  neighbor
- send the control verification message to
  
```

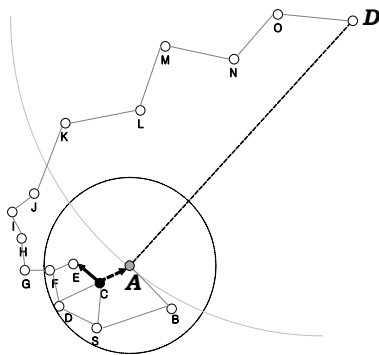


그림 4. 노드 C는 페이스 라우팅으로 탐색된 노드 E에게 컨트롤 탐색 메시지를 보내고 노드 A에게 컨트롤 확인 메시지 전송
 Fig. 4. Node C sends to Node E detected by the control search message and it sends to Node A using the control verification message

```

node A with information of this neighbor
else
stop the search activity of next candidate
  
```

노드 C는 컨트롤 탐색 메시지의 내용을 먼저 확인한 다음 자신의 이웃 노드 중에 노드 A가 존재하는지 확인한다. 그 후, 기존의 페이스 라우팅과 같이 다음으로 선택할 노드 E를 탐색하여 찾게 된다. 노드 C는 노드 E에게 페이스 라우팅을 통해 다음으로 선택될 노드를 탐색하라고 컨트롤 탐색 메시지를 보낸다. 또한 노드 C는 노드 A에게 컨트롤 확인 메시지를 보낸다. 이는 이웃 노드 E가 페이스 라우팅을 시작한 노드 A의 이웃 노드인지 확인하기 위한 방법이다. 노드 A는 이처럼 매번 컨트롤 확인 메시지를 받으면서 탐색된 노드가 노드 A의 이웃 노드인지 확인한다. 노드 A가 이웃 노드의 정보가 담긴 컨트롤 확인 메시지를 받는 경우, 일시적인 타이머를 리셋 시키고 다시 대기한다. 노드 A가 매번 컨트롤 확인 메시지를 받는 이유는 노드 A의 한 홉 범위 안에서 가장 멀리 있는 노드를 찾아서 전송 홉 수를 줄이기 위함이다. 노드 A가 만약 이웃 노드가 아닌 정보가 담긴 컨트롤 확인 메시지를 받는다면 페이스 라우팅으로 탐색을 시도한 이웃 노드가 노드 A의 범위 밖의 노드를 찾음을 의미한다. 이는 해당 노드로부터 목적지 노드의 방향으로 더 이상 노드 A의 이웃 노드가 없음을 의미하며 또한 탐색을 시도한 노드가 노드 A의 가장 멀리 있는 이웃 노드임을 의미한다.

노드 A로부터 이웃 노드 간의 거리상으로 가장 멀리 있는 노드를 선택하지 않고 그림 4처럼 컨트롤 확인 메시지를 통해 노드를 선택하는 이유는 노드 A로부터 가장 멀리 있는 이웃 노드 중 루프 현상이 없는 노드를 찾기 어렵기 때문이다. 페이스 라우팅이 평면 그래프를 이용해서 데이터 메시지를 전달하는 이유는 메시지 전송을 방해하는 라우팅 루프 현상을 피하기 위함이다. 다른 확인 방법 없이 노드 A와 거리 길이가 가장 멀리 있다고 판단하면 오히려 페이스 라우팅의 규칙을 위배할 뿐만 아니라 데이터 메시지 전달을 제대로 수행할 수 없게 될 수도 있다. 또한 단순 거리상으로 멀리 있는 노드를 선택하더라도 해당 노드가 목적지 노드 방향 부근에 위치하지 않을 수도 있다.

그림 5처럼 노드 S는 페이스 라우팅 방법을 시작하여 자신으로부터 목적지 노드 D까지 평면 그래프를 만들었다고 가정한다. 실선은 노드 S의 반경 안에 만들어진 평면 그래프라 가정하고 점선은 노드 S의 반경 외에 만들어진 평면 그래프라 가정한다. 노드 S가

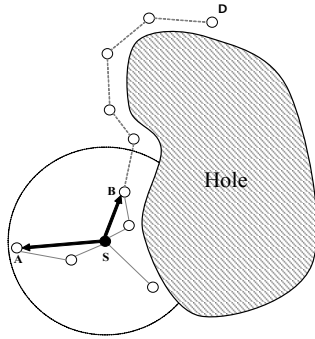


그림 5. 노드 S의 무선 반경에서 거리상으로 가장 멀리 있는 노드 A와 페이스 라우팅 경로에서 가장 멀리 있는 노드 B
 Fig. 5. The farthest node A based on distance and The farthest node B based on the face routing in range of node S

단순 거리상으로 가장 멀리 있는 노드를 선택하게 되면 노드 A를 선택해야 한다. 하지만 노드 S가 노드 A를 선택하게 되면 노드 D로 갈 수 있는 평면 그래프 선이 없기 때문에 목적지까지 데이터 메시지를 전달 하는데 문제가 생기게 된다. 이처럼 단순 거리 계산으로 가장 멀리 있는 노드를 선택할 경우 데이터 메시지 전달에 문제가 생길 수 있기 때문에 제안 방안은 컨트롤 확인 메시지를 보내면서 가장 멀리 있는 이웃 노드를 찾는다.

그림 6은 이웃 노드 F가 노드 A의 범위에서 바깥에 위치한 노드 G를 찾은 상태이다. 즉, 노드 G는 노드 A의 범위 안에 있는 이웃 노드가 아니며 이는 노드 F가 노드 A에서 가장 멀리 있는 이웃 노드임을 나타낸다. 노드 F는 페이스 라우팅의 방법으로 다음으로 선택할 노드 G를 찾은 다음 컨트롤 탐색 메시지를 보낸다. 노드 C의 의사 코드에서 표현한 것처럼 노드 G는 컨트롤 탐색 메시지를 받은 후, 메시지 내용을 확인해본 결과 이웃 노드가 아닌 외부 노드 A로부터 보

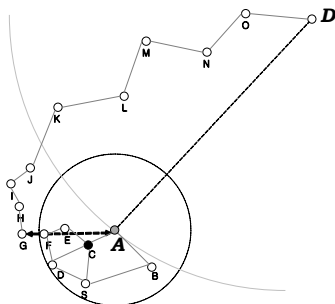


그림 6. 노드 A가 데이터 메시지 전송하기 전, 노드 A는 노드 F로부터 컨트롤 확인 메시지를 수신
 Fig. 6. Before Node A sends the data message, it receives the control verification message from Node F.

낸 컨트롤 탐색 메시지임을 확인한다. 노드 G는 더 이상 상관없는 메시지라 판단하고 페이스 라우팅 탐색을 중지한다. 이는 무한정으로 페이스 라우팅 경로를 탐색 하는 것이 아니라 필요한 페이스 라우팅 경로 구간만 탐색하는 하나의 장치로 볼 수 있다.

노드 F는 또한 노드 A에게 컨트롤 확인 메시지를 보낸다. 노드 A에서 컨트롤 확인 메시지를 받고 처리하는 과정을 의사 코드를 만들면 다음과 같다.

Node A:

```

if (void area & receive the data message) then
    ...
- wait the control verification message with the temporary timer
if (receive the control verification message) then
- Compare the neighbor node list of node C with information of control search message
if (is neighbor node list) then
- reset the temporary timer and wait else
- Send the data message to node which sends the control verification message
    
```

노드 A는 컨트롤 확인 메시지를 받고 메시지 내용을 확인하면 노드 F가 노드 A의 외부에 있는 노드를 찾았다는 사실을 알게 된다. 이는 노드 A에서 가장 멀리 있는 이웃 노드가 노드 F임을 판단하게 된다. 그 후, 노드 A는 노드 F에게 데이터 메시지를 전달하고, 노드 F는 노드 A가 했던 방식대로 컨트롤 탐색 메시지를 보내고 컨트롤 확인 메시지를 기다린다. 제안 방안은 목적지에 도착할 때까지 위의 방법을 계속 반복한다.

3.3 분석

기존의 방안들과 달리 제안방안이 데이터 메시지를 보내지 않고 컨트롤 메시지를 먼저 탐색하고 데이터 메시지를 보내는 것은 전송 노드의 에너지 소비량을 줄이기 위함이다. 데이터 메시지는 수집된 정보나 여러 정보를 갖고 있으며 가지고 있는 정보가 많아질수록 데이터 메시지 크기는 증가한다. 센서 노드가 데이터 메시지를 전달하기 위해 통신을 하게 되면 에너지가 소모되는데 데이터 크기에 따라 에너지 소모율도 증가하게 된다. 센서 노드에서 에너지 소모율이 가장 큰 것은 센서 간의 데이터를 전달하는 통신이며, 목적

지 노드로 데이터 메시지를 전달하기 위해 통신에 참여한 센서 노드들은 에너지를 각각 소모하게 된다²⁾. 이로 인해 통신으로 인한 에너지 소모가 계속될 경우 노드의 에너지가 고갈되어 전체 네트워크의 수명을 단축시킨다. 또한 기존의 페이스 라우팅의 경우, 평면 그래프를 따라 데이터를 전달하는데 초점을 두었기 때문에 에너지 효율성을 고려하지 않았다. 이는 노드가 밀집되어 있는 지역에서는 치명적인 결과를 가져올 수 있으며 통신으로 보내는 데이터 메시지의 크기가 커질수록 에너지 소모율이 증가하게 되어 에너지 효율성에 손해를 가져오게 된다.

제안 방안은 위의 문제점을 해결하고자 제안 프로토콜에서는 크기가 작은 컨트롤 메시지를 보내어 출발 노드 주변을 탐색하고 가장 멀리 있는 이웃 노드를 찾아낸다. 데이터를 가진 노드의 한 홉 범위 내에서 가장 멀리 있는 이웃 노드 탐색한 다음 데이터를 가진 노드는 가장 멀리 있는 노드로 탐색된 노드에게 직접 데이터 메시지를 보내어 불필요한 에너지 소모율을 줄인다. 이는 기존의 페이스 라우팅보다 더 적은 경로로 데이터 메시지를 전달함으로써 전체적인 노드 에너지 소비량을 줄일 수 있다. 또한 센서 노드가 밀집된 지역인 경우, 기존 페이스 라우팅은 데이터를 가진 노드에서 목적지 노드까지 여러 번에 걸쳐 데이터 메시지를 보내야 할 상황이지만 제안 방안에서는 한 홉 반경 내에서 가장 멀리 있는 이웃 노드에게 한 번만 보내는 상황이기 에너지 효율성 면에서 효과적이다.

에너지 효율성을 비교하기 위해 두 방법을 수식으로 비교해보았다. n 은 페이스 라우팅으로 지나가는 노드 수를 뜻하며 데이터 메시지를 보내는데 쓰이는 에너지 소모량을 E_d 라 가정하고 컨트롤 메시지를 보내는데 쓰이는 에너지 소모량을 E_c 라 가정한다. 노드의 무선 반경을 기준으로 수식을 만들면 기존 페이스 라우팅은 nE_d , 제안 방안은 $2nE_c + E_d$ 으로 표현할 수 있다. 제안 방안이 기존 페이스 라우팅보다 에너지 효율성이 나아지려면 다음과 같은 식이 성립되어야 한다.

$$E_d > \frac{2n}{n-1} E_c \quad (1)$$

즉, 우변은 좌변보다 작은 값을 가져야 제안 방안의 에너지 효율성이 나음을 확인할 수 있다. (1)의 식에서 가장 크게 영향을 주는 변수는 비례 관계인 E_c 이며 이는 E_c 가 커질수록 (1)의 식이 성립되지 않을 수 있다. 하지만 제안 방안에서 컨트롤 메시지가 매우 작

은 크기의 메시지로 정의되어 있어 통신에 대한 에너지 소모량 E_c 또한 작다고 할 수 있다. 다시 말하면, E_c 가 매우 작은 값을 갖기 때문에 (1)의 식에 성립되어 제안 방안은 기존 페이스 라우팅에 비해 에너지 효율성이 뛰어나다고 할 수 있다.

IV. 성능 평가

이번 장은 기존의 페이스 라우팅과 제안 방안의 성능을 에너지 효율성 측면에서 살펴본다. 무선 센서 네트워크에서 가장 널리 쓰이고 있는 GPSR과 GOAFR, 제안 방안을 시뮬레이션으로 구현하여 성능을 비교하였다.

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문은 제안 방법을 네트워크 시뮬레이터인 Qualnet 4.0^[7]으로 시뮬레이션을 하였다. 센서 노드의 전송범위는 30 ~ 120 m이며 센서 노드 10 ~ 100 개의 노드가 임의로 분산되어 1000 x 1000 m²에 설정한다. 시뮬레이션 시간은 100초로 설정하고 각 센서 노드들은 자신의 위치를 이웃 노드에게 전송한다. 컨트롤 메시지와 데이터 메시지의 데이터 크기에 대한 차이를 주기 위해 컨트롤 메시지는 데이터 메시지보다 큰 바이트를 가지지 않으며 데이터 메시지의 바이트 수가 변동할 경우 한 패킷의 중간 값에 가까운 71바이트부터 시작한다고 가정하였다. 모든 결과는 각 시뮬레이션을 100회 반복한 결과 값의 평균값이다.

본 논문에서는 페이스 라우팅에서 영향을 미치는 변수들을 고려하여 시뮬레이션에 적용하였다. 먼저 센서 노드의 출발하는 위치와 목적지 위치 사이의 거리를 고려하였다. 페이스 라우팅이 시작되고 출발지와 목적지의 거리가 먼 거리일수록 데이터 패킷을 전달하려면 페이스 라우팅을 더 많이 시도해야한다. 센서 노드에서 페이스 라우팅이 많이 시도할수록 통신 횟수가 증가하기 때문에 센서들의 에너지 소모가 증가하므로 각각 라우팅에 대한 에너지 효율성을 판단할 수 있다. 또한 센서 노드의 에너지에서 고려해야 할 점은 노드의 무선 반경이다. 비교 대상인 GPSR, GOAFR의 페이스 라우팅은 무선 반경에 영향을 받지 않지만 본 논문에서 제안한 방안은 무선 반경에 따라 영향을 크게 받는다. 이를 비교하여 각각의 라우팅에 대한 에너지 효율을 비교할 수 있다. 마지막으로 센서 노드에서 보내는 메시지 크기에 대해서도 고려해야 한다. 메시지 크기가 크면 클수록 센서 노드가 통신에 소모하는 에너지는 증가하게 된다^[8]. 메시지의 크기

를 바꿔가며 통신에 쓰이는 에너지 소모량을 비교하여 각 라우팅에 대한 에너지 효율성을 확인할 수 있다.

4.2. 시뮬레이션 결과

그림 7은 데이터를 전달하려는 출발 노드에서 목적지 노드까지의 총 전달 거리를 변화시키면서 에너지 소모량을 측정한 그래프다. GPSR은 총 전달 거리에 따라 전송횟수가 증가하기 때문에 에너지 소모량은 거리가 증가함에 따라 증가하는 그래프를 나타낸다. GOAFR도 전체적으로 GPSR과 비슷한 양상을 보였지만 페이스 라우팅이 시작하는 노드가 변경될 때마다 페이스의 변경이 발생하는 경우로 인해 전달하는 경로가 변경되어 GPSR보다 에너지 소모량이 적은 편을 유지할 수 있었다. 하지만 GPSR과 마찬가지로 평면 그래프를 기준으로 전달하며 거리가 늘어남에 따라 전송 횟수도 같이 증가하여 에너지 소모량도 같이 증가하였다. 제안 방안은 거리가 늘어남에 따라 에너지 소모량도 같이 증가했지만 GPSR과 GOAFR보다 적은 에너지 소모량을 보여주었다. 또한, 제안 방안은 GPSR과 GOAFR과 다르게 그래프 상승폭이 낮은 편인데 그 이유는 기존 연구인 두 페이스 라우팅은 평면 그래프의 경로를 따라가기 때문에 거리가 늘어날수록 메시지 전송 횟수도 증가하며 이와 달리 제안 방안은 무선 반경에서 가장 멀리 있는 이웃 노드에게 데이터 메시지를 전달하기 때문에 더 적은 횟수로 데이터 메시지를 전달할 수 있다. 거리가 늘어날수록 제안 방안은 다른 두 방안보다 더 적은 횟수로 데이터 메시지를 전달하기 때문에 비교 대상인 두 라우팅과 제안 방안의 에너지 소모량 차는 점차 증가한다.

그림 8은 각 센서 노드의 무선 반경을 조절하여 에너지 소모량을 측정한 그래프이다. 비교 대상인

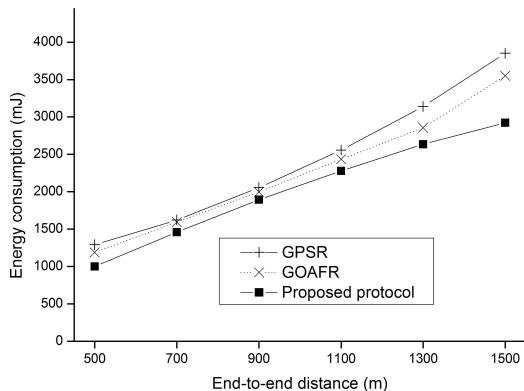


그림 7. 총 전달 거리에 의한 에너지 소모량
Fig. 7. Energy consumption according to end-to-end distance

GPSR은 무선 반경과 상관없이 같은 에너지 소모량을 나타내었으며 그 이유는 GPSR의 페이스 라우팅이 무선 반경에 영향을 받지 않고 단지 평면 그래프의 경로만을 선택하며 메시지를 전송하기 때문이다. GOAFR도 무선 반경만 변경되는 경우 페이스의 변화가 생기지 않아 동일한 평면 그래프의 경로만을 선택하므로 에너지 소모량이 GPSR과 유사하였다. 제안 방안은 이와 다르게 센서 노드의 무선 반경이 커지면 커질수록 에너지 소모량이 감소하는 그래프를 볼 수 있었다. 제안 방안이 기존 연구인 GPSR과 GOAFR과 다르게 에너지 소모량이 감소하는 이유는 제안 방안이 데이터 메시지를 가장 멀리 있는 이웃 노드에게 전달하려고 탐색했기 때문이다. 제안 방안은 두 기존 연구와 달리 컨트롤 메시지를 통해 가장 멀리 있는 이웃 노드를 탐색했으며 이는 컨트롤 메시지로 가장 멀리 있는 이웃 노드를 탐색할 때 소모되는 에너지가 데이터 메시지 전송 때 소모되는 에너지보다 더 적었음을 의미한다. 또한, 제안 방안은 센서의 무선 반경이 커지면 커질수록 무선 반경에 존재하는 이웃 노드들이 증가하므로 더욱 멀리 있는 이웃 노드를 탐색되어 그림 8처럼 에너지 소모량이 감소되는 현상을 볼 수 있었다. 이는 제안 방안이 비교 대상인 GPSR과 GOAFR보다 더 적은 에너지 소모량을 보여주었다.

그림 9는 데이터 메시지의 크기에 따른 에너지 소모량을 비교하였다. GPSR의 경우 데이터 메시지의 크기가 커질수록 에너지 소모량도 같이 증가하였다. 특히, 그림 9에서 중간에 에너지 소모량이 갑자기 증가한 구간이 있는데 이는 메시지에 담을 수 있는 데이터가 최대 133 bytes이기 때문에 데이터가 133 bytes를 넘을 시 새로운 데이터 메시지를 보내야 한다. GOAFR도 마찬가지로 데이터 메시지의 크기가 커질수록 에너지 소모량도 같이 증가하였으며 페이스가

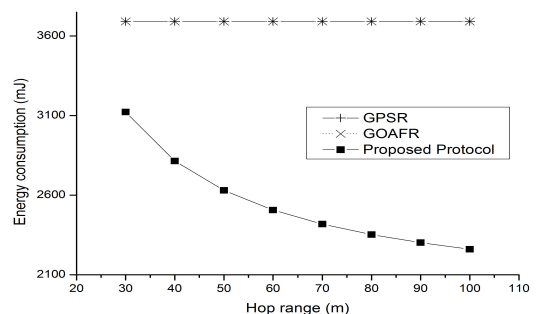


그림 8. 노드의 무선 반경에 의한 에너지 소모량
Fig. 8. Energy consumption impacted by hop range of node

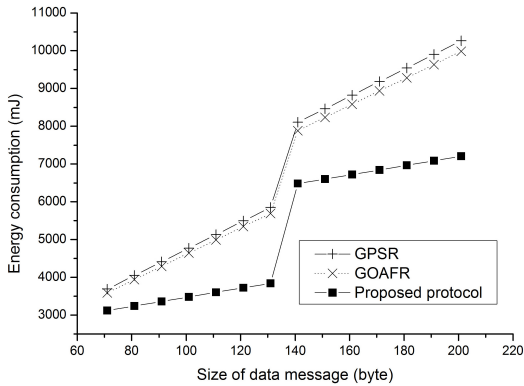


그림 9. 데이터 메시지 크기에 의한 에너지 소모량
Fig. 9. Energy consumption according to size of data message

변경되어 평면 그래프의 경로가 변경되는 경우로 인해 GPRS보다 적은 에너지 소모량을 가졌다. 또한 데이터 메시지의 크기가 133 bytes가 넘을 경우 새로운 데이터 메시지를 보내야 하기 때문에 에너지 소모량이 급증하는 구간이 생겼다. 비교 대상인 제안 방안도 데이터 메시지의 크기가 커질수록 에너지 소모량이 같이 증가하였지만 GPRS에 비해 더 적은 에너지 소모량을 가졌다. 제안 방안이 기존 연구들보다 적은 에너지 소모량을 가진 이유는 컨트롤 메시지로 미리 탐색하여 GPRS보다 더 적은 데이터 메시지의 전송 횟수를 가짐으로써 노드에 대한 에너지 소모량을 크게 줄일 수 있었다. GPRS과 마찬가지로 데이터가 133 bytes를 넘게 되면 새로운 데이터 메시지를 보내야 하기 때문에 제안 방안 그래프 중간에 에너지 소모량이 급증하는 구간을 볼 수 있었다.

그림 10은 데이터를 전달하려는 출발 노드에서 목적지 노드까지의 총 전달 거리와 무선 반경을 변경했을 때 적용한 3차원 그래프이다. GPRS의 경우, 총 전달 거리는 에너지 소모량에 영향을 주므로 그래프의 변화에 영향을 주었지만 무선 반경은 영향을 주지 않아 그래프에 변화를 주지 못하여 대각선 형태인 3차원 그래프를 보여주었다. GOAFR도 총 전달 거리는 에너지 소모량에 영향을 주며 무선 반경의 경우 그래프에 영향을 주지 않아 GPRS과 유사한 3차원 대각선 그래프를 보여주었다. 이와 달리, 제안 방안은 두 변수인 총 전달거리와 무선 반경에 영향을 받아 GPRS과 다른 굽은 모양의 3차원 그래프 모양을 보여주었다. 제안 방안에서 두 변수가 커질수록 제안 방안의 에너지 소모량은 더욱 증가하였지만 비교 대상인 GPRS과 GOAFR의 3차원 그래프보다 아래에 있었다.

즉, 제안 방안에게 두 변수에 대해 변화 주어도 비교 대상인 GPRS과 GOAFR보다 에너지 소모량이 낮음을 보여주었다.

그림 11은 두 변수인 데이터를 전달하려는 출발 노드에서의 총 전달 거리와 데이터 메시지의 크기를 변경했을 때 적용한 3차원 그래프이다. GPRS과 GOAFR, 제안 방안 모두 두 변수인 총 전달 거리와 데이터 메시지의 크기에 영향을 받았다. 하지만 제안 방안이 두 변수를 모두 적용하여도 GPRS과 GOAFR의 에너지 소모량보다 적음을 3차원 그래프를 통해 볼 수 있었다. 또한 비교 대상인 GPRS과 GOAFR은 두 변수가 커져감에 따라 제안 방안과 차이가 더 벌어짐을 볼 수 있었다. 이는 제안 방안이 두 기존 연구인 GPRS, GOAFR보다 에너지 효율이 높음을 보여주었다.

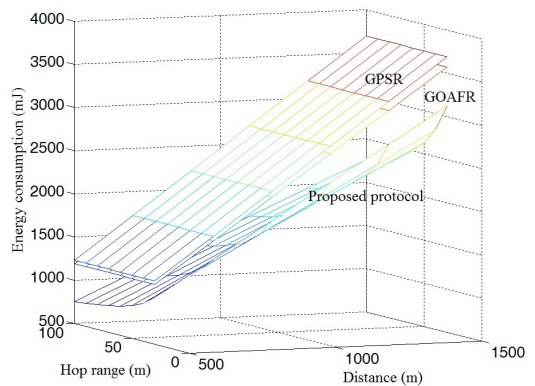


그림 10. 총 전달거리와 노드의 무선 반경에 의한 에너지 소모량
Fig. 10. Energy consumption impacted by end-to-end distance and hop range of node

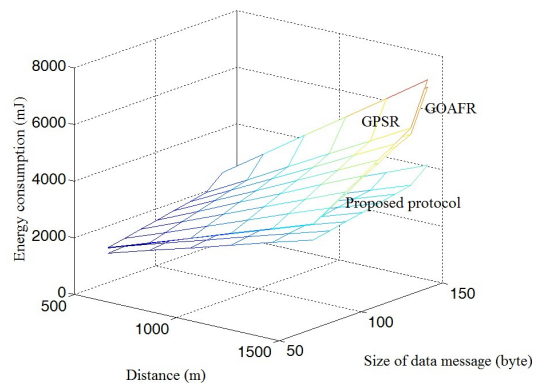


그림 11. 총 전달 거리와 데이터 메시지 크기에 의한 에너지 소모량
Fig. 11. Energy consumption according to end-to-end distance and size of data message

마지막으로, 그림 12는 두 변수인 무선 반경과 데이터 메시지의 크기를 변경했을 때 적용한 3차원 그래프이다. GPSR의 경우, 데이터 메시지의 크기에는 그래프에 영향을 주었지만 무선 반경은 영향을 주지 않아 이전과 같이 대각선 형태인 3차원 그래프를 보여주었다. GOAFR의 경우 GPSR과 마찬가지로 데이터 메시지 크기에는 영향을 받았지만 무선 반경은 영향을 받지 않아 이전과 같은 3차원 대각선 그래프를 보여주었다. 제안 방안은 앞서 두 라우팅과 달리 두 변수에 모두 영향을 받아 굽은 모양의 3차원 그래프를 보여주었다. 또한 제안 방안의 3차원 그래프는 비교 대상인 GPSR과 GOAFR의 3차원 그래프보다 아래에 있었다. 이는 제안 방안이 두 기존 연구보다 에너지 효율이 더 나음을 보여주었다.

위의 시뮬레이션을 통해 알 수 있었던 점은 GPSR과 GOAFR는 차이가 별로 없었지만 제안 방안과 두 기존 연구를 비교하면 에너지 소모량이 확실히 차이가 났다. 세 가지 변수인 총 전달 거리, 무선 반경, 데이터 메시지의 크기에 변화를 주어도 GPSR과 GOAFR은 제안 방안의 에너지 소모량보다 항상 높게 소비하였다. 특히, 무선 반경은 GPSR과 GOAFR의 에너지 소비량에 영향을 받지 않고 제안 방안만 영향을 받아서 증가함에도 불구하고 오히려 비교 대상인 GPSR과 GOAFR의 에너지 소모량이 더 높았다.

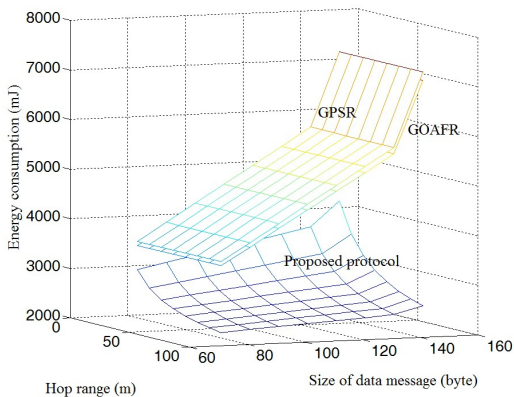


그림 12. 노드의 무선 반경과 데이터 메시지 크기에 의한 에너지 소모량
Fig. 12. Energy consumption impacted by hop range of node and size of data message

V. 결 론

본 논문에서는 노드의 한 홉 범위에서 가장 멀리 갈 수 있는 이웃 노드를 탐색하고 데이터 메시지를 전

달하여 에너지 효율성을 향상시키는 방법을 제안하였다. 기존 페이스 라우팅에서 경로가 탐색되면 바로 데이터 메시지를 같이 보내는 방법과 달리 제안 방안은 작은 크기의 컨트롤 탐색 메시지를 페이스 라우팅 방법으로 보내어 출발 노드의 한 홉 범위로부터 가장 멀리 갈 수 있는 이웃 노드를 탐색하였다. 그 다음 출발 노드는 가장 멀리 갈 수 있다고 탐색한 이웃 노드에게 데이터 메시지를 직접 보내어 기존보다 데이터 메시지 전송 횟수가 적어 에너지 효율성을 증가시킬 수 있었다. 제안 방안은 성능 평가를 통해 기존 연구에 쓰이는 GPSR과 GOAFR보다 에너지 효율성이 향상되는 것을 확인하였다. 향후 연구 과제로는 기존 페이스 라우팅 방법에 에너지 효율성도 보장하면서 신뢰성을 보장할 수 있는 방법을 고려하고자 한다.

References

- [1] I. F. Akyildiz, et al., "A survey on sensor networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] H. Karl and A. Willing, *Protocol and architecture for wireless sensor networks*, John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [3] S. Kim, C. Kim, H. Cho, and S.-H. Kim, "Continuous moving object tracking using query relaying in tree-based sensor network," *J. KICS*, vol. 39B, no. 5, pp. 271-280, May 2014.
- [4] J. N. Al-Karaki and A. E. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: a survey," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 6-28, Dec. 2004.
- [5] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," *Ad hoc networks*, vol. 3, no. 3, pp. 325-349, May 2005.
- [6] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," *ACM MobiCom '00*, pp. 243-254, MA, USA, Aug. 2000.
- [7] Q. Fang, J. Gao, and L. J. Guibas, "Locating and bypassing routing holes in sensor networks," *IEEE INFOCOM 2004*, pp. 2458-2468, Hong-Kong, China, Mar. 2004.
- [8] N. Ahmed, S. S. Kanhere, and S. Jha, "The

holes problem in wireless sensor networks : a survey,” *ACM SIGMOBILE Mob. Comput. and Commun.*, vol. 9, no. 2, pp. 4-18, Apr. 2005

[9] S. Kim, H. Park, J. Lee, and S.-H. Kim, “Energy-efficient grid-based hole-detouring scheme in wireless sensor networks,” *J. KICS*, vol. 37B, no. 4, pp. 227-235, Apr. 2012.

[10] S. Kim, C. Kim, H. Cho, and S.-H. Kim, “A hole self-organization real-time routing protocol for irregular wireless sensor networks,” *J. KICS*, vol. 39B, no. 5, pp. 281-290, May 2014.

[11] P. Bose, P. Morin, I. Stojmenovic, and J. Urrutia, “Routing with guaranteed delivery in ad hoc wireless networks,” in *Proc. 3rd Int. Workshop on Discrete Algorithms and Methods for Mob. Comput. Commun. (DIALM'99)*, pp. 48-55, WA, USA, Aug. 1999.

[12] H. Frey and I. Stojmenovic, “On delivery guarantees of face and combined greedy-face routing in ad hoc and sensor networks,” *ACM MobiCom'06*, pp. 390-401, CA, USA, Sept. 2006.

[13] H. Frey and I. Stojmenovic, “On delivery guarantees and worst-case forwarding bounds of elementary face routing components in ad hoc and sensor networks,” *IEEE Trans. Computers*, vol. 59, no. 9, pp. 1224-1238, Sept. 2010.

[14] F. Kuhn, R. Wattenhofer, and Y. Zhang, “Geometric ad-hoc routing: of theory and practice,” in *Proc. 22nd ACM Int. Symp. PODC*, pp. 63-72, MA, USA, Jul. 2003.

[15] I. F. Akyildiz, T. Melodia, and K. R. Chowdury, “Wireless multimedia sensor networks: A survey,” *IEEE Wirel. Commun.*, pp. 32-39, vol. 14, no. 6, Dec. 2007.

[16] K. Maraiya, K. Kant, and N. Gupta, “Wireless sensor network: A review on data aggregation,” *Int. J. Scientific & Eng. Research*, vol. 2, Apr. 2011.

[17] Scalable Network Technologies, *Qualnet*, [online]available:http://www.scalable-networks.

com.

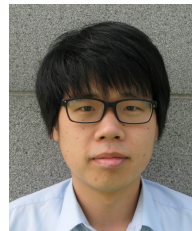
[18] M. Amiri, “Evaluation of lifetime bounds of wireless sensor networks,” *Computer Research Repository (CoRR)*, abs/1011.2103, Nov. 2010.

조 현 종 (Hyunchong Cho)



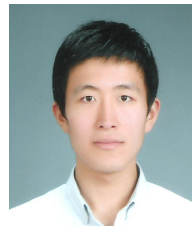
2013년 2월 : 전북대학교 전자정보공학부 컴퓨터공학과 졸업
 2013년 3월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정 <관심분야> Wireless Sensor Networks, IoT 등

김 상 대 (Sangdae Kim)



2013년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2013년 3월~현재 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정 <관심분야> Wireless Sensor Networks, IoT 등

김 천 용 (Cheonyong Kim)



2013년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2015년 2월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 석사
 2015년 3월 : 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> Wireless Sensor Networks, IoT 등

김 상 하 (Sang-Ha Kim)



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

황 치 정 (Chi-jung Hwang)



1975년 : 서강대학교 수학과 학사
1979년 : 서강대학교 수학과 석사
1981년 : 뉴욕주립대학 수학과 석사
1985년 : UCONN 전산학 석사
1987년 : UCONN 전산학 박사
1988년~현재 : 충남대학교 컴퓨
터공학과 교수

<관심분야> 영상처리, 패턴인식