

논문 2010-47TC-8-8

모바일 싱크를 갖는 무선 센서 네트워크에서 효율적인 데이터 전송경로 유지 방법

(An Efficient Path Maintaining Scheme in the Grid Based Wireless
Sensor Networks with a Mobile Sink Node)

윤 영 섭*, 조 성 현**, 박 성 한***

(Youngsub Yoon, Sunghyun Cho, and Sung-Han Park)

요 약

본 논문은 무선센서 망에서 소스 노드와 모바일 싱크 노드 간 데이터 전송경로를 효율적으로 관리하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 최단거리 전송경로를 보장하며, 기존에 형성되었던 경로를 최대한 이용함으로써 경로재설정을 위한 비용을 줄일 수 있다. 실험 결과는 제안하는 방법이 기존 대표적 경로재설정 방법인 CODE와 EADA에 비해 경로 재설정 비용을 약 60% 감소시켰음을 보여준다.

Abstract

This paper proposes an efficient path maintaining scheme in the grid based wireless sensor networks. The proposed scheme provides the shortest path from a source node to a mobile sink node in a re-established dissemination path. The shortest path can save energy consumption to deliver data to the destination. The proposed scheme can also reduce the cost for path maintenance by reusing the existing path. The simulation results show that the proposed scheme reduces the path maintenance cost by 60% compared to the conventional schemes.

Keywords : wireless sensor network, mobile sink, routing, data dissemination

I. 서 론

무선 센서네트워크(wireless sensor network)는 사람의 직접적인 데이터 수집이 어려운 광범위한 지역이나 전장과 같은 위험한 지역을 모니터링하기 위해 많이 사용되고 있다. 무선 센서네트워크는 데이터 수집을 위하여 수 천, 수 만개의 작은 센서(sensor)들이 이용되며, 해당 지역을 커버 하기위해 센서를 공중 살포

(scattering)하는 방법을 사용한다. 살포된 각각의 센서 들은 스스로가 데이터 수집 및 전송을 담당해야 하고 재충전이 불가능한 특성을 가진다. 재충전 불가에 따른 네트워크의 짧은 수명은 중요 문제로 인식 되어, 이를 해결하기 위한 여러 연구가 진행 되어져 왔다^[1~2]. 초창기 연구들은 싱크(sink) 노드와 소스(source) 노드 모두가 고정되어 있는 정적인 네트워크 구조를 가정하였다. 정적 네트워크에서 싱크 노드 주위에 위치한 노드들은 상대적으로 많은 데이터 전달을 담당하게 된다. 이는 특정 노드가 다른 노드보다 빨리 에너지가 고갈되는 핫 스팟 문제를 야기한다. 핫 스팟 문제를 해결하기 위해 모바일 싱크 노드가 도입되었다. 모바일 싱크는 싱크 노드의 위치가 유동적으로 변함으로써 특정노드의 과중한 데이터 전달에 따른 에너지 소모를 네트워크 전체

* 정회원, 삼성전자 무선사업부
(Samsung Electronics)

** 정회원-교신저자, 경상대학교 컴퓨터공학부
(Gyeongsang National University)

*** 평생회원, 한양대학교 컴퓨터공학과
(Hanyang University)

접수일자: 2010년3월23일, 수정완료일: 2010년8월13일

노드로 균등하게 배분할 수 있다. 그러나 모바일 싱크의 사용은 모바일 싱크의 위치 추적, 라우팅 등과 같은 기술적 문제를 야기 하였다. 특히 모바일 싱크 노드로 데이터를 전달하기 위한 라우팅(routing) 문제는 네트워크의 성능을 좌우하는 주요 이슈로 대두되어 이에 대한 많은 연구가 진행 되었다^[3~7].

Two-tier data dissemination(TTDD)^[4]는 광범위한 무선 센서 네트워크에서 싱크 노드가 이동성을 가질 때 이동하는 싱크 노드로 데이터를 전달하는 방법을 제안 하였다. TTDD는 소스중심의 동적 그리드를 설정하여 경로설정을 하였으며, 이동성을 가진 싱크 노드도 고려하여 데이터 전달 방법을 제안하였다. 그러나 각각의 소스 노드에 따라 그리드를 동적으로 설정함으로써 많은 그리드 설정 에너지를 소모하였다. 이런 단점을 해결하기 위해 소스 노드의 위치와 관계없이 항상 적용될 수 있는 고정 그리드 기반 연구 결과들이 제안되었다^[5~7].

Coordination-based data dissemination protocol(CODE)^[5]는 전체 네트워크를 가로세로 각각 i 크기를 갖는 여러 그리드로 구성하였다. 각각의 그리드는 x, y 좌표를 고유 ID로 하며, 해당 그리드 내에서 데이터 수집과 전달역할을 수행하는 하나의 그리드 헤드를 갖는다. CODE는 이와 같은 환경에서 그리드ID를 이용한 최단경로 생성방법을 제안하였다. 최단경로는 출발지 그리드부터 목적지 그리드까지 전체경로를 직선경로와 대각선 경로로 구성하여 설정된다. 대각선 경로는 출발지 그리드부터 목적지 그리드와 같은 x 또는 y 값을 갖는 그리드까지의 대각선 방향으로 설정된다. 목적지까지의 나머지 경로는 대각선 경로의 종점이 되는 x 혹은 y 값부터 목적지 그리드까지의 가로 또는 세로의 직선 경로로 설정된다. 출발지 그리드와 목적지 그리드가 정확히 대각선 방향으로 위치하거나 동일 축 상에 존재하는 경우 각각 대각선 혹은 직선 경로만으로 최단 경로가 구성된다. CODE에서 제안한 그리드 기반 최단경로 설정방법은 기존 대부분의 라우팅 기법에서 사용되고 있으며, 본 논문에서도 이 방법을 사용한다. 싱크 노드가 이동한 경우 CODE는 싱크 노드의 새로운 위치를 소스 노드로 보낸다. 소스 노드는 싱크 노드의 새로운 위치를 목적지로 하는 최단경로를 재설정하여 데이터를 전송한다. 따라서 싱크 노드가 이동할 때 마다 싱크 노드의 이동정보를 소스 노드까지 전송해야하며 이는 경로 재설정에 많은 비용이 소모됨을 의미한다.

Energy-aware data aggregation(EADA)^[6]는 그리드 기반 네트워크 하에서 데이터 수집을 위해 필요한 에너지 소모량을 줄일 수 있는 방법을 제안하였다. EADA에서는 데이터 요청을 위한 쿼리 메시지를 제한된 영역 내에서만 송수신함으로써 불필요한 에너지 소모를 줄이고 전체 네트워크 수명을 연장시킨다. 또한, EADA에서는 싱크 노드가 이동성을 가지는 경우 전송경로를 재설정하는 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 싱크 노드의 이동 때 마다 전체 경로를 재설정 하지 않고, 재사용 가능한 이전 전송경로가 주위에 존재 할 경우 이를 최대한 재사용한다. 이동한 싱크 노드 주위에 기존 전송경로가 존재하는지 여부를 판단하기 위해 POLLING/REP 메시지를 사용하였다. EADA는 CODE에 비해 싱크 노드의 이동에 따른 경로재설정 비용을 줄일 수 있지만, 계속해서 경로를 연장 재사용함에 따라 소스부터 싱크 노드까지 최단 경로를 보장하지 못하고 우회경로가 설정되는 단점이 있다. 이는 결국 데이터 전송비용의 증가를 가져온다.

앞서 살펴본 바와 같이 모바일 싱크의 이동성으로 인한 경로 재설정 문제를 다루고 있는 기존 연구들은 최단 경로 설정과 경로 재사용 방법을 적절히 혼용하지 못하고 한 가지 방법만 활용함으로써 최적화된 효율을 제공하지 못하고 있다. 이에 본 논문에서는 이전 전송경로를 효과적으로 재사용하여 경로재설정 비용을 줄일 뿐만 아니라, 경로 재설정 시 최단 경로를 보장할 수 있도록 하여 데이터 전송에 따른 에너지 소모도 줄일 수 있는 경로 재설정 알고리즘을 제안하고자 한다.

II. 제안하는 알고리즘

제안하는 알고리즘은 그리드기반 네트워크 환경을 가정하며, 기본적인 데이터 전송은 CODE^[5]의 최단경로 알고리즘을 사용한다.

1. 동작 절차

제안하는 알고리즘은 다음과 같은 세 단계로 동작한다.

- 1단계 (주기적 싱크 노드 위치정보 확인): 1 단계에서는 싱크 노드의 위치정보를 갱신하여 싱크 노드의 이동 여부를 판단한다. 싱크 노드가 이동하였을 경우에만 소스 노드부터 이동한 싱크 노드까지의 전송경로를 재설정 하기위한 동작을 수행한다.

- 2단계 (싱크 노드 이동영역 구분): 2단계에서는 효율적인 경로 재설정 방법을 찾기 위해 싱크 노드 이동 후의 영역을 구분한다. 제안하는 알고리즘에서는 싱크 노드의 이동위치에 따라 이동영역을 크게 세 가지로 구분한다. 각 이동영역의 특징 및 이동영역 구분 방법은 다음절에서 상세히 기술한다.

- 3단계 (경로 재설정): 3단계에서는 2단계에서 결정된 싱크 노드의 이동영역에 따라 각 영역에 적합한 경로 재설정 절차를 수행한다. 구체적인 경로 재설정 절차는 3절에서 상세히 기술한다.

2. 이동영역 구분

본 논문에서는 경로 재설정 비용을 최소화하고 경로 재설정 후에도 최단 전송경로를 보장하기 위해 싱크 노드의 이동 영역을 그림 1과 같이 세 가지 영역으로 구분한다. 각 영역별 특징은 다음과 같다.

첫 번째 영역은 싱크 노드의 이동 후에 기존 경로를 연장하여 전송경로를 재설정할 수 있는 영역으로 정의된다. 그림 1에서 A 영역이 이에 해당된다. 기존 경로를 연장하여 재사용하는 방법은 연장하여 생성된 새로운 경로가 소스 노드부터 이동한 싱크 노드까지 최단 경로인 경우에만 적용할 수 있다. 두 번째 영역은 싱크 노드의 이동 후 최단 경로를 보장하기 위해 기존 경로의 일부만 재사용하는 영역으로 정의된다. 그림 1에서 B 영역이 이에 해당된다. 두 번째 영역에서는 기존 전송경로를 연장하여 경로 재설정할 경우 전체경로가 최단 경로로 형성될 수 없다. 따라서 최단경로 보장을 위해서 기존 경로의 일부분만을 재사용한다. 세 번째 영역은 싱크 노드의 이동 후 최단 경로 보장을 위해 기존

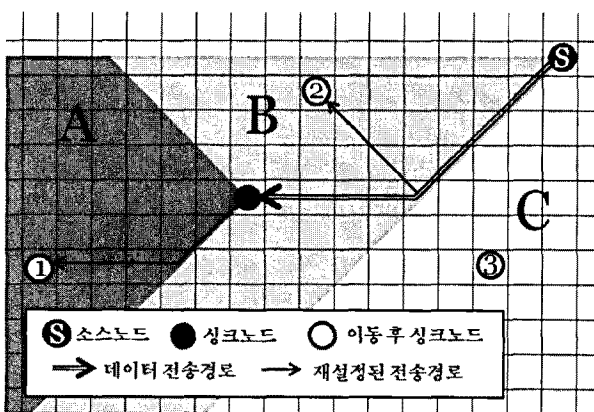


그림 1. 싱크 노드의 이동영역 구분
Fig. 1. Moving regions of mobile sink node.

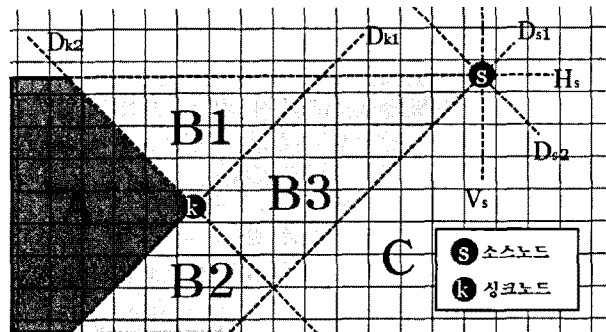


그림 2. 싱크 노드의 이동영역 구분 방법
Fig. 2. The method to divide the moving regions of a mobile sink node.

전송경로를 재사용하지 못하고 전송경로 전체를 재설정해야 하는 영역이다. 그림 1에서 C 영역이 이에 해당된다. 세 번째 영역은 기존 전송경로가 놓이는 범위를 벗어나므로 기존 전송경로를 재사용할 경우 최단 경로 보장이 불가능하다. 따라서 싱크 노드가 세 번째 영역으로 이동했을 경우 최단경로 보장을 위해서는 전송경로 전체를 재설정해야 한다.

제안하는 알고리즘에서는 앞서 정의한 세 가지 영역을 다음과 같은 방법을 통해 구분한다. 그림 2와 같이 전체 네트워크는 소스 노드를 지나는 두 대각선(D_{s1} , D_{s2})과 가로세로 두 직선(H_s , V_s)에 의해 8섹터로 나눌 수 있다. 그 중 싱크 노드가 포함된 섹터가 경로재사용 영역 (A+B)이며, 그 외 영역은 기존 경로를 재사용하지 않는 C영역에 해당된다. 경로재사용영역은 싱크 노드 (k)를 지나는 두 대각선(D_{k1} , D_{k2})에 의해 다시 4등분된다. 4분할된 영역 중 소스 노드 반대편에 위치한 영역이 A영역에 해당한다. 나머지 세 영역이 B영역을 구성하며, 각각은 기존 전송경로가 존재하는 B3영역, H_s (또는 V_s)에 접하는 B1영역 그리고 D_s 에 접하는 B2영역으로 세분화된다.

세분화된 B영역은 경로 재설정 시 서로 다른 기존 전송경로 탐색 방법을 적용한다. 자세한 경로 재설정 방법은 다음 절에 기술한다.

3. 이동영역에 따른 경로 재설정 방법

제안하는 알고리즘은 싱크 노드의 이동 위치에 따라 이동영역이 결정되면 각 영역에 적합한 경로 재설정 방법을 적용한다. 각 영역별 경로 재설정 방법은 다음과 같다.

첫 째, 싱크 노드가 A영역으로 이동하였을 경우에는 기존 전송경로를 완전히 재사용하고, 기존 싱크 노드의

위치에서 이동 후 싱크 노드까지는 최단거리 경로를 새로이 설정한다. 제안하는 알고리즘에서는 싱크 노드의 기존 위치에서 새로운 위치까지 최단경로를 설정하기 위해 싱크 노드가 자신의 새로운 위치정보를 포함하는 경로 재설정 메시지를 이동하기 전 그리드의 헤드로 전송한다. 경로 재설정 메시지를 받은 그리드헤드는 소스 노드로부터 전송되어온 데이터 패킷헤더의 목적지 정보를 갱신하는 보급 노드 역할을 한다. 목적지 정보가 갱신된 패킷은 CODE^[5]의 최단경로설정 알고리즘을 통해 싱크 노드의 새로운 위치로 전달된다.

싱크 노드가 B영역으로 이동하였을 경우 제안하는 알고리즘은 기존 전송경로의 일부만 재사용하여 재전송 경로를 설정한다. B1과 B2영역에서는 경로 재설정을 위해 경로 재설정 메시지를 B3영역을 향하는 대각선 방향으로 전송한다. 예를 들면 그림 2에서 B1영역에서의 경로재설정 메시지 전송방향은 우-하 방향이고, B2에서는 우-상 방향이 된다. 싱크 노드가 B3영역으로 이동하였을 경우에는 기존 전송 경로가 싱크 노드의 아래 쪽 혹은 위쪽에 위치 할 수 있다. 따라서 경로재설정 메시지를 B1, B2영역으로 이동했을 경우 적용되는 두 방향 모두로 전송하여 경로를 재설정한다. 즉 경로재설정 메시지는 경로 재사용 영역 내에서 우-하, 우-상 방향으로 전송된다. 기존 전송경로 상의 그리드헤드 중 경로재설정 메시지를 받은 그리드헤드는 보급 노드로 선정되어 소스 노드로부터 전송되어온 데이터 패킷헤더의 목적지 정보를 싱크 노드의 새로운 위치로 갱신하여 데이터를 전달한다. 싱크 노드의 새로운 위치로 목적지가 갱신된 데이터 패킷은 최단경로 알고리즘^[5]에 의해 싱크 노드로 전송된다.

세 번째로 싱크 노드가 C영역으로 이동하였을 경우 제안하는 알고리즘에서는 기존 전송경로를 무시하고 새로운 전송경로를 설정한다. 싱크 노드는 경로재설정 메시지를 소스 노드로 전송한다. 소스 노드는 싱크 노드의 새로운 위치를 목적지로 하여 데이터를 전송함으로써 전송경로 전체를 재설정한다.

III. 수학적 성능분석

본 장에서는 제안하는 알고리즘의 이론적 성능분석을 위하여 싱크 노드의 이동에 따른 경로 재설정 비용과 재설정된 경로의 길이의 비용을 구하고 이를 CODE^[5] 및 EADA^[6] 방식과 비교한다. 경로 재설정 비

용은 경로 재설정을 위한 경로 재설정 메시지가 전달되는 홉 수의 누적 값 (C_p)을 나타내며, 재설정된 경로의 비용은 재설정된 경로에서 싱크 노드부터 소스 노드까지 정보를 전달하기 위해 필요한 홉 수를 누적한 값 (C_d)으로써 최적화 경로의 기준이 된다.

먼저 싱크 노드가 경로 재사용 영역(A 또는 B)로 이동하는 경우 경로 재설정 비용과 재설정된 경로의 길이는 각각 아래 식(1) 및 (2)와 같이 정의할 수 있다.

$$C_{p(A)} = C_{p(B)} = \sum_{i=1}^n D_B(G_i^A, G_i^D) \quad (1)$$

$$C_{d(A)} = C_{d(B)} = \sum_{i=1}^n [D_P(G^S, G_i^D) + D_B(G_i^D, G_i^A)] \quad (2)$$

식(1)에서 $D_B(G_i^A, G_i^D)$ 는 싱크 노드의 i 번째 이동 후 싱크 그리드(G_i^A)로부터 경로 재설정을 위해 선택된 보급 그리드(G_i^D)까지 최단경로 홉 수를 나타낸다. 제안하는 알고리즘에서는 경로 재설정 메시지를 보급 노드까지 전송하여 경로를 재설정한다. 따라서 재설정된 경로는 소스 노드와 보급 노드 그리고 보급 노드와 싱크 노드간의 경로로 구성되므로, 재설정된 경로 전체의 비용은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. 식 (2)에서 $D_P(G^S, G_i^D)$ 와 $D_B(G_i^D, G_i^A)$ 는 각각 소스 그리드에서 보급 그리드까지의 최단 경로 홉 수, 보급 그리드에서 싱크 그리드까지의 최단 경로 홉 수를 나타낸다.

한편, 싱크 노드가 경로 재사용 영역을 벗어나 C영역으로 이동하는 경우에는 기존 경로를 재사용하지 못하므로 소스 노드가 보급 노드가 된다. 따라서 G_i^D 는 G_i^S 로 대체 가능하므로 경로 재설정 비용 C_p 와 재설정된 경로 길이 C_d 는 식(3)과 같이 유도될 수 있다.

$$C_{p(C)} = C_{d(C)} = nT \quad (3)$$

여기서, T 는 소스 노드와 싱크 노드사이의 평균 홉 수를 나타내며 식(4)와 같이 주어진다.

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_B(G^S, G_i^A) \quad (4)$$

위의 식(1)과 식(3)에서 보급 노드는 소스 노드-싱크 노드 간 최단경로 상에 존재하므로 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$C_{p(A)} = C_{p(B)} \leq C_{p(C)} \quad (5)$$

CODE^[5]가 제안하는 방법은 이전 경로를 전혀 사용하지 않고 매번 경로 전체를 재설정하므로 경로 재설정 비용과 재설정된 경로의 비용은 위 식(3)에서 주어지는 것과 같은 결과를 보인다. EADA^[6]는 두 가지 경우로 나누어서 분석 가능하다. 먼저 싱크 노드의 이동 속도가 빨라 이동한 싱크 노드 주위에 기존 경로가 존재하지 않을 경우에는 EADA에서도 CODE와 같은 방법으로 경로를 재설정하므로 위 식(3)의 결과와 동일하다. 반면 싱크 노드의 이동속도가 낮아 기존경로 주위로 이동한 경우에는 이전경로를 연장하여 경로 재설정한다. 이때 재설정 경로는 인접 이웃 노드에서 연장되므로 이동 후의 싱크 노드와 선택된 보급 노드는 한 홉(hop)의 링크로 연결 가능하다. 따라서 이 경우 C_p 와 C_d 는 식(6) 및 식(7)과 같이 주어진다.

$$C_{p(EADA)} = n \quad (6)$$

$$C_{d(EADA)} = n \cdot D_B(G^S, G_0^A) + \frac{n(n+1)}{2} \quad (7)$$

이상의 분석 결과를 통해 CODE는 경로 재설정 메시지를 소스 노드까지 전송하여 경로를 재설정하는 반면 제안하는 알고리즘은 보급 노드까지만 메시지를 전달함으로써 경로 재설정 비용을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 싱크 노드가 고속으로 이동할 경우에는 EADA 역시 CODE와 동일하게 동작하므로 제안하는 방법이 경로 재설정 비용 측면에서 이득을 가진다. 반면 싱크 노드가 저속으로 이동할 경우 EADA는 기존 경로 상의 이웃 노드를 보급 노드로 하여 경로를 연장 사용하므로 경로 재설정 비용 측면에서 제안하는 방법과 큰 성능 차이가 없다. 그러나 싱크 노드가 지속적으로 저속으로 이동하는 경우 EADA는 최단 경로 설정을 고려치 않고 기존 경로를 계속해서 연장하여 사용하는 반면 제안하는 방법은 최단 경로를 고려하여 경로 재사용을 결정하므로 재설정 경로 비용 측면에서 EADA에 비해 우수한 성능을 보인다.

IV. 실험 결과

앞서 III장에서 분석한 수학적 분석 결과를 확인하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며 시뮬레이션 파

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameters.

시뮬레이션 파라미터	설정 값
시뮬레이션 총 시간(s)	300, 000
네트워크 한 변의 크기(m)	1000
그리드 한 변의 크기(m)	10
총 그리드 개수	100
싱크 노드 이동패턴	Random way point
싱크 노드의 속도(m/s)	1~5, 10
싱크 노드의 위치확인 주기(s)	10

라미터는 표(1) 과 같다. 성능비교 지표로는 경로 재설정 비용(C_p)과 재설정된 경로의 비용(C_d)을 활용한다. CODE^[5], EADA^[6], 그리고 제안하는 알고리즘에 대해 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션에서 싱크 노드는 10초를 주기로 위치확인을 하며, 총 30,000번의 위치이동을 한다.

그림 3은 경로 재설정 후 소스 노드-싱크 노드 간 재설정된 경로의 길이 비용에 대한 성능평가 결과이다. 먼저 CODE는 싱크 노드의 이동 후 항상 경로를 재설정하기 때문에 싱크 노드의 이동 속도와 관계없이 최단 경로 유지가 가능하다. 반면 EADA의 경우 싱크 노드의 이동속도가 빠른 경우에는 이동 후 싱크 노드의 위치가 경로 재사용 범위를 벗어나므로 경로를 재설정하여 CODE와 마찬가지로 최단 경로 유지가 가능하다. 그러나 싱크 노드의 이동속도가 느린 경우에는 기존 경로를 재사용하게 되므로 그림 3에서와 같이 전송경로 길이 합이 증가하게 된다. 제안하는 알고리즘의 경우 싱크 노드의 이동위치에 따른 영역을 구분하여 경로의 길이 비용이 불필요하게 증가되지 않는 영역에서만 기존 경로를 재사용한다. 따라서 그림 3에서 보이는 바와 같이 CODE에 비해서는 경로 길이 비용에 대한 이득이 거의 없으나, 싱크 노드의 이동속도가 느리고 싱크 노드의 이동 방향이 그림 2에서 정의한 B, C 영역으로 향할 때에 한해 제한적으로 EADA 방식에 비해 이득이 발생한다.

그림 4는 싱크 노드의 이동속도에 따른 경로 재설정 비용을 비교한 성능평가 결과이다. CODE의 경우 싱크 노드 이동 시 이동 속도에 관계없이 싱크 노드와 소스 노드 간에 경로 재설정 메시지를 전송하므로 실험 결과와 같이 항상 높은 경로 재설정 비용이 요구된다. 반면 EADA는 싱크 노드의 이동 속도가 빠른 경우에만

CODE와 같은 방법으로 경로를 재설정하므로 경로 재설정 비용이 CODE와 유사하다. 그러나 싱크 노드의 이동 속도가 느린 경우에는 경로 재설정 메시지를 싱크 노드와 기존 경로 상의 이웃 노드 간에만 전송하므로 CODE에 비해 경로 재설정 비용을 줄일 수 있다. 그림 4에서 싱크 노드의 이동속도가 2m/s 이하일 때가 이러한 경우에 해당된다. 반면 제안하는 알고리즘은 싱크 노드의 이동 영역이 그림 2의 C영역인 경우에만 싱크 노드와 소스 노드 간에 경로 재설정 메시지를 전송하고 그 이외의 경우에는 싱크 노드의 이동 속도에 관계없이 싱크 노드와 보급 노드 간에 경로 재설정 메시지를 전달한다. 따라서 그림 4의 실험 결과와 같이 제안하는 알고리즘의 경로 재설정 비용은 항상 CODE의 경로 재설정 비용 이하로 요구되며, 싱크 노드의 이동 속도가 느릴수록 경로 재설정 비용 이득이 증가한다. 그러나 제안하는 알고리즘을 EADA 방식과 비교했을 경우에는 그림 4와 같이 제한적으로 경로 재설정 비용 이득이 발생한다. 먼저 싱크 노드의 이동 속도가 빠른 경우에는 싱크 노드가 그림 2의 B영역으로 이동하는 경우에 한

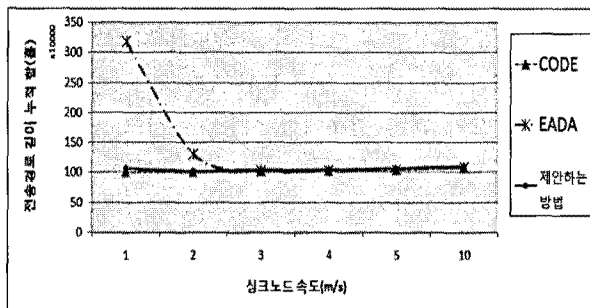


그림 3. 싱크 노드의 속도에 따른 전송경로길이 누적합

Fig. 3. Total number of hops in a rebuilding path according to the mobile sink node speed.

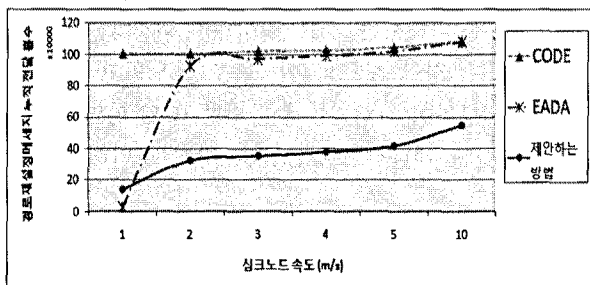


그림 4. 싱크 노드의 속도에 따른 경로재설정 메시지의 누적 전달 횟수

Fig. 4. Total transmission number of the rebuilding messages according to the mobile sink node speed.

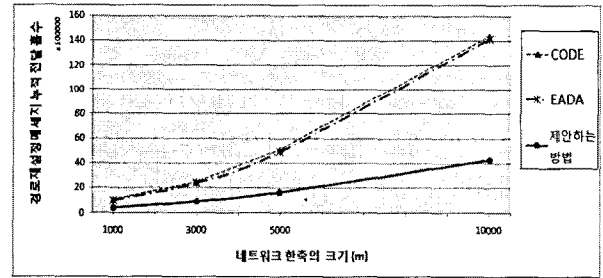


그림 5. 네트워크 크기에 따른 경로재설정 메시지의 누적 전달 횟수

Fig. 5. Total transmission number of the rebuilding messages according to the network size.

해서 제한적으로 이득이 발생한다. 반면 싱크 노드의 이동 속도가 느린 경우에는 싱크 노드가 A영역으로 이동할 경우 EADA와 유사한 경로 재설정 비용이 요구되지만, 싱크 노드가 B 혹은 C 영역으로 이동할 경우에는 EADA에 비해 경로 재설정 비용이 증가한다. 따라서 이 경우에는 제안하는 알고리즘이 EADA에 비해 경로 재설정 누적 전달 횟수가 증가한다.

그림 5는 싱크 노드가 5 m/s의 속도로 이동할 때, 네트워크 크기 변화에 따른 경로 재설정 비용을 시뮬레이션한 결과이다. 시뮬레이션 결과를 통해 알 수 있듯 기존 CODE 및 EADA 방식은 네트워크 크기에 비례하여 경로 재설정 비용도 증가하는 문제점을 보이고 있다. 그림 3의 성능분석 결과를 참조하면 싱크 노드가 5 m/s의 속도로 이동하는 경우 EADA 방식은 CODE와 동일한 방법으로 경로 재설정을 하게 되므로 경로 재설정 비율 증가 형태가 CODE와 동일하다. 반면, 제안하는 방식은 기존 방식들과는 달리 싱크 노드부터 보급 노드까지만 경로재설정 메시지를 전송한다. 이때, 싱크 노드와 보급 노드 간의 거리는 네트워크의 크기에 비례하여 증가하지 않기 때문에 제안하는 알고리즘의 경우 네트워크의 크기에 비례하여 경로 재설정 비용이 증가하지는 않는다. 다만, 싱크 노드의 이동 방향이 그림 2의 C영역일 경우 기존 방법들과 마찬가지로 네트워크의 크기에 따라 경로 재설정 비용이 결정되므로 네트워크 크기가 커짐에 따라 경로 재설정 비용이 상대적으로 낮은 비율로 증가하게 된다.

IV. 결론

본 논문에서는 싱크 노드의 이동성을 지원하는 무선 센서 네트워크에서 효율적인 전송경로 유지 방법을 제

안하였다. 제안된 방법은 소스 노드와 싱크 노드간 최단 경로를 유지시켜 줄 수 있는 범위 내에서 기존 경로를 최대한 재사용한다. 특히, 기존 경로 재사용 시 싱크 노드의 이동 후 근거리에서 있는 기존 경로상의 그리드헤드를 보급 노드로 이용함으로써 경로 재설정 과정에서의 에너지 소모를 최소화 한다. 제안하는 방법은 싱크 노드의 이동 속도가 빠른 경우 기존 대표적 연구 결과인 CODE 및 EADA에 비해 전송경로 재설정을 위한 메시지 전달 수를 최대 60% 가량 감소시킬 수 있다. 또한, 무선 센서 네트워크의 크기가 증가하는 경우 기존 알고리즘들에 비하여 경로 재설정 비용의 이득이 더욱 증가한다. 그러나 제안하는 알고리즘의 경우에도 싱크 노드가 기존 경로 전체를 재사용하는 영역 혹은 일부를 재사용하는 영역 내에서 지그재그 형태로 저속 이동하는 경우에는 최적 경로 재설정을 보장하지 못하는 문제점을 지니고 있다. 따라서 이를 개선할 수 있는 추가적인 연구가 요구된다. 제안하는 알고리즘은 넓은 지역에서 싱크 노드가 잦은 이동을 갖는 전장이나 인명구조 분야에서 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] C. Intanagonwivat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva. "Directed diffusion for wireless sensor networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 11, no.1, pp. 2 - 16, Feb. 2003.
- [2] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan., "Energy efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in *Proc. of IEEE System Science.*, pp.1-10 Jan. 2000.
- [3] Kim, S., Son, S. H., Stankovic, J. A., Li, S., and Choi, Y., "SAFE: A data dissemination protocol for periodic updates in sensor networks," in *Proc. of Data Distribution for Real-Time Systems*, pp.228 - 234, May. 2003.
- [4] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A two tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks," *IEEE/ACM Mobile Computing and Networking*, pp.148-159, Sep. 2002.
- [5] H. L. Xuan and S. Lee, "A Coordination-based Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," in *Proc. of Sensor Networks and Information Processing Conference*, pp.13-18, Dec. 2004.
- [6] N. Wang, P. Yeh and Y. Huang, "An energy-aware data aggregation scheme for grid-based wireless sensor networks," in *Proc of the International conference on Wireless communications and mobile computing*, pp.487-492, Aug. 2007
- [7] Z. Zhou, X. Xiang and X. Wang, "An Energy-Efficient Data-Dissemination Protocol in Wireless Sensor Networks," *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia networks*, pp.13-22, Jun. 2006.
- [8] J.Albowitz, A.Chen, and L.Shang, "Recursive Position Estimation in Sensor Networks," in *Proc. of International Conference on Network protocols*, pp.35-41, Nov. 2001.
- [9] "Energy Conservation for Ad Hoc Routing," in *Proc. of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, Rome, Italy, July 2001.

저 자 소 개



윤 영 섭(정회원)
 2006년 2월 계명대학교 컴퓨터
 공학과 학사
 2010년 2월 한양대학교 컴퓨터
 공학과 석사
 2010년 3월~현재 삼성전자 무선
 사업부 Global GSM
 개발팀

<주관심분야 : 무선통신, GSM>



조 성 현(정회원)-교신저자
 1995년 2월 한양대학교 컴퓨터
 공학과 공학사
 1997년 2월 한양대학교 컴퓨터
 공학과 공학석사
 2001년 8월 한양대학교 컴퓨터
 공학과 공학박사

2001년~2006년 삼성종합기술원 전문연구원
 2006년~2008년 미국 스탠퍼드대 Postdoc
 2009년~현재 경상대학교 컴퓨터공학부 조교수
 <주관심분야 : 무선통신, 이동통신>



박 성 한(평생회원)
 1970년 한양대학교 전자공학과
 학사
 1973년 서울대학교 전자공학과
 석사
 1984년 미국 텍사스 주립대 전기
 및 컴퓨터공학과 박사

2003년 대한전자공학회 회장
 2005년~2007년 WFEO 정보통신의장
 1986년~현재 한양대학교 컴퓨터공학과 교수
 <주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터네트워크>