

센서 네트워크에서 모바일 싱크를 위한 효율적인 라우팅 기법

우 매 리[†]

An Efficient Routing Protocol for Mobile Sinks in Sensor Networks

Mary Wu[†]

ABSTRACT

Sensors have limited resources in sensor networks, so efficient use of energy is important. In order to use the energy of the sensor node efficiently, researches applying mobile sink to the sensor network have been actively carried out. The sink node moves the sensor network, collects data from each sensor node, which spread the energy concentrated around the sink node, thereby extending the entire life cycle of the network. But, when the sink node moves, it requires a reset of the data transmission path, which causes a lot of control messages and delays. In this paper, we propose a CMS(Cluster-based Mobile Sink) method to support the movement of mobile sink in a cluster sensor environment. The proposed scheme minimizes an amount of control messages without resetting the routing paths of entire sensor networks by supporting the sink mobility path using the neighbor cluster list. And, it simplifies the routing path setup process by setting a single hop path between clusters without a gateway. The experiment results show that the proposed scheme has superior energy efficiency in processing and network structure, compared with existing clustering and mesh routing protocols.

Key words: Cluster Sensor Networks, Efficient Energy Use, Mobile Sink, Multihop-routing, Single Hop Between Cluster Headers

1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 주위의 환경 데이터를 수집하여 다양한 용도로 응용이 가능한 기술로써 군사 지역이나 보안 지역에서의 침입 탐지, 온도와 습도 같은 환경 모니터링 등에 적용이 가능하다. 센서 노드들은 주변 상태를 측정하고, 측정된 데이터를 싱크 노드에게 전달한다. 싱크가 받은 데이터들은 어플리케이션에서 가공되어 사용되거나 사용자에게 제공된다. 센서 노드들은 감지 대상 지역에 임의적인 방식으로 배치되어 환경

데이터를 수집한다. 배터리 파워로 동작하는 센서 노드는 감지 대상 지역에 배치된 이후에는 충전이 불가능하므로 배터리 파워를 효율적으로 사용하는 것이 필수적인 요소이다. 이것을 극복하기 위해 에너지를 효율적으로 사용하는 네트워크를 구성하는 것이 중요한 설계 요구사항이다[1-3].

최근, 싱크 노드의 데이터 수집 기법에 따라 센서 노드에서 감지된 데이터를 효율적으로 사용자에게 전달하는 기법에 대해서 많은 연구가 진행되고 있다. 고정싱크 기법에서 싱크 노드에 근접한 노드는 데이터 라우팅이 빈번하게 발생하여, 센서 노드의 에너지

※ Corresponding Author : Mary Wu, Address: (712-720) Gyeongbuk, Gyeongsan-si, Jinryang-ub, Bonghwe-ri, 117 Youngnam Theological University and Seminary, TEL : +82-53-850-0580, FAX : +82-53-852-9815, E-mail : mary-wu@ytus.ac.kr

Receipt date : Feb. 8, 2017, Revision date : Mar. 20, 2017
Approval date : Mar. 30, 2017

[†] Dept. Of Computer Culture, Yongnam Theological University and Seminary, Korea

가 불균등하게 소모된다. 제한된 에너지를 가지는 센서 노드의 에너지가 모두 소진되면, 해당 영역의 데이터 수집에 있어서 QoS를 제공하지 못하고, 라우팅 경로의 단절현상이 발생한다. 라우팅 경로가 단절될 경우, 라우팅 경로의 재설정이 필요하고, 이것으로 인해 제어 메시지 오버헤드가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 센서 네트워크에 모바일싱크를 적용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 모바일싱크는 싱크 노드가 센서 네트워크를 이동하며 각 센서 노드로부터 데이터를 수집하여, 싱크 노드 주변 노드에 집중되는 에너지를 분산시킴으로 네트워크 전체 생명 주기를 연장시킨다[4-5].

모바일싱크 기법은 정적인 경로의 모바일싱크와 동적인 경로의 모바일싱크가 있다. 정적인 경로는 싱크 노드가 정해진 트랙이나 특정 앵커 포인트를 기반으로 일정하게 이동하는 기법으로 라우팅 경로설정 없이 데이터를 수집한다. 정적인 경로는 싱크 노드가 정해진 시간에 정해진 경로를 따라 이동하므로, 최신의 데이터를 수집하지 못하고, 이러한 점에서 이벤트 데이터에 대한 QoS를 제공하지 못하는 단점이 있다. 동적인 경로의 모바일싱크 기법은 싱크의 위치에 따라 라우팅 경로를 구축하여 데이터를 수집한다. 동적인 경로는 싱크의 자유로운 이동을 지원하므로 센서 네트워크에서 더욱 실제적으로 적용될 수 있다. 동적인 경로의 모바일싱크의 경우, 싱크 노드가 이동할 때 이동된 위치로 데이터를 전달하기 위해서, 라우팅 경로의 재설정이 필요하다. 싱크 노드가 이동할 때마다 라우팅 경로를 재설정하는 것은 많은 제어 메시지를 발생시키고, 이로 인해서 센서 노드의 에너지 소모량이 증가하게 된다. 싱크 노드의 이동성으로 네트워크 전체의 센서 노드가 균등하게 소모하는 장점을 극대화하고 동적인 경로의 싱크 노드의 이동성을 원활하게 지원하기 위해서, 효율적인 라우팅 경로설정 방법이 요구된다[6-9].

다른 관점에서 노드의 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 네트워크 구조로써 클러스터나 격자 구조가 많이 연구되고 있다. 일반적으로 인접한 센서 노드는 유사한 정보를 수집하므로 유사 정보의 중복 전송으로 인한 에너지 낭비가 크다. 클러스터와 격자 기법에서는 센서 네트워크가 클러스터, 격자 구조를 형성하고, 대표 노드가 다른 노드로부터 수집한 데이터를 집약한 후 전송하는 방법으로 유사한 정보의

중복전송을 줄이고, 전체 센서 네트워크는 저전력 네트워킹을 수행한다[10-15].

대표적인 클러스터 기법인 LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[10] 환경에서, 싱크 노드가 이동하면, 라우팅 경로의 재설정이 요구되고, 이것으로 인해 라우팅 메시지 전송으로 인한 에너지 소모와 라우팅 경로의 재설정 지연이 발생한다. 또한 확률적인 방법으로 클러스터 헤더가 선출되므로, 멀티홉 라우팅 경로 설정에서 클러스터간에 데이터를 전송하기 위해서 게이트웨이 선출 등의 복잡한 라우팅 경로 설정이 요구된다.

격자 기반 센서 네트워크는 네트워크를 2차원 격자구조로 구성해서, 격자 지점 노드를 통해서 데이터가 전달된다. TTDD(Two-Tier Data Dissemination)[13]는 대표적인 격자기반 센서 네트워크 프로토콜로써, 이프로토콜을 기반으로 격자 기반 센서 네트워크의 연구가 진행되고 있다[14-15]. 싱크 노드가 설정된 라우팅 경로에서 벗어날 경우, 전체 라우팅 경로가 재설정되지 않고, 지역적인 경로 갱신으로 싱크의 이동성을 지원하여, 라우팅 전송에 대한 에너지 소모를 줄이고, 싱크의 자유로운 이동성을 보장한다. 그러나 이 방법은 격자 구조를 형성하기 위해서 센서 노드들이 자신의 위치 정보를 인식해야 한다. 제한된 자원을 가지는 센서 노드에 GPS를 탑재하거나 다른 위치정보처리를 수행하는것은 비용측면에서 비효율적이다.

따라서, 본 연구에서는 클러스터 기반 센서 네트워크에서 싱크노드의 이동성을 원활하게 지원하기 위한 CMS(Cluster-based Mobile Sink) 기법을 제안한다. 본 연구에서 제안하는 기법은 클러스터 환경에서 싱크의 이동에 대해서 신속한 라우팅 경로의 갱신을 위해서, 이웃 클러스터 테이블을 이용한다. 이 방식은 기존의 클러스터 생성과 라우팅 경로설정의 2 단계 과정으로 이루어지는 절차와는 달리, 라우팅 경로를 설정하는 과정에서 클러스터를 생성하여 제어

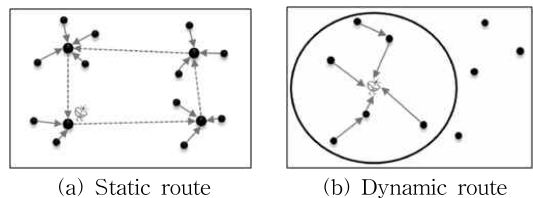


Fig. 1. Mobile sink route.

메시지 발생으로 인한 에너지 소모를 최소화한다. 또한, 제안하는 방식은 게이트웨이 없는 클러스터간 경로를 지원하여, 라우팅 경로설정 과정이 단순화하고, 불필요한 라우팅 제어 메시지를 최소화한다.

2. 클러스터기반 모바일싱크 이동성지원 기법

본 연구에서는 클러스터기반 센서 네트워크에서 싱크 노드의 이동을 원활하게 지원하는 멀티홉 라우팅 기법 CMS(Cluster-based Mobile Sink)을 제안한다. 제안하는 기법은 센서 노드가 고정되고 싱크 노드가 이동성을 가지는 환경에서, 싱크 노드가 해당 클러스터 영역을 벗어날 때, 라우팅 경로를 재설정하지 않고, 해당 클러스터 헤더가 관리하는 이웃 클러스터 테이블을 이용하여 신속하게 데이터 전송경로를 수정한다. 또한 클러스터 구조를 생성할 때 클러스터간 단일홉 연결을 지원하여, 게이트웨이 선출과정 없이 클러스터간을 연결하는 라우팅 경로를 설정한다.

2.1 단일홉 클러스터간 연결구조와 라우팅 경로 생성

본 연구에서 제안하는 클러스터링 기법은 클러스터 생성과 동시에 라우팅 경로를 구성한다. Fig. 2는 클러스터 구조에서 게이트웨이 없는 클러스터 헤더 라우팅 경로가 생성된 결과를 보인다. 이웃 클러스터 헤더는 단일홉 전송을 지원하고, 단일홉 전송의 이웃 클러스터 헤더는 다른 전송범위 안에 존재한다. 클러스터 헤더 a와 단일홉으로 연결된 클러스터 헤더 b, c, d, e는 클러스터 헤더 a의 전송범위 안에 존재한다.

이러한 클러스터와 라우팅 경로의 생성을 위해서, 싱크 노드는 자신의 원홉 이웃 노드에게 ‘초기 헤더

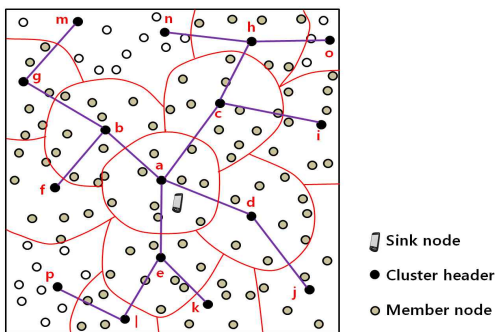


Fig. 2. The creation of clusters and the routing path.

선출’ 메시지를 전송한다. 메시지를 받은 센서 노드는 ‘초기 헤더응답’ 메시지를 전송하고, 싱크 노드는 받은 메시지 중 하나를 선택하여 해당 노드를 초기 클러스터 헤더로 선출한다. 싱크노드는 초기 클러스터 헤더로 ‘쿼리’ 메시지를 전송하고, 이것으로 라우팅 경로설정을 시작한다.

초기 클러스터 헤더는 클러스터 라우팅 경로의 루트가 되어, 트리 구조의 라우팅 경로에서 하위 클러스터 헤더로부터 전송받은 데이터를 싱크 노드로 전달한다. ‘쿼리’ 메시지를 수신한 초기 클러스터 헤더는 홉수를 0으로 지정하고, ‘쿼리’ 메시지를 다시 발송한다.

선출된 클러스터 헤더의 전송거리 안에 위치하는 센서 노드 중에 가까운 위치의 센서 노드는 클러스터 멤버 노드가 되고, 먼 거리에 위치하는 센서 노드 중에 단일홉 전송을 가능하게 센서 노드를 클러스터 헤더로 선출하기 위해서 ‘Signal Strength Threshold’ 방법을 사용한다.

Fig. 3은 메시지 전송 거리에 따른 신호세기의 변화와 ‘Signal Strength Threshold’를 보여준다. ‘쿼리’ 메시지를 수신한 센서 노드 중에 ‘Signal Strength Threshold’ 이상의 신호세기로 수신한 노드는 클러스터 헤더에게 ‘조인’ 메시지를 전송하여 클러스터의 멤버가 된다. ‘Signal Strength Threshold’ 이하로 메시지를 수신한 노드는 확률적 방식으로 클러스터 헤더 선출을 수행한다.

Fig. 4는 ‘Signal Strength Threshold’ 이상으로 수신하는 노드는 ‘Clustering Area’에 속하고, ‘Signal Strength Threshold’ 이하로 수신하는 노드는 ‘Header Selection Area’에 속하는 것을 보여준다. ‘Header Selection Area’에서 속하는 노드는 확률방식으로 클러스터 헤더 선출을 수행한다.

인접한 위치의 클러스터 헤더가 선출되지 않게 하

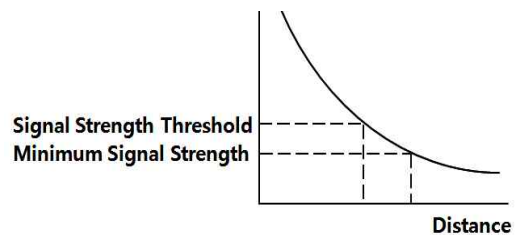


Fig. 3. The signal strength thresholds of query messages.

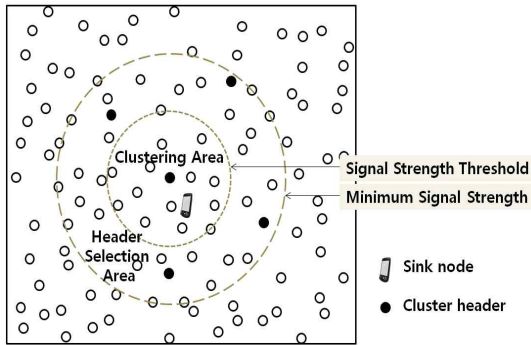


Fig. 4. Clustering area and Header selection area.

기위해서, 확률값으로 선출된 헤더후보 노드는 ‘헤더후보’ 메시지를 방송하고, 헤더후보 노드 중에 ‘Signal Strength threshold’ 이상으로 ‘헤더후보’ 메시지를 수신한 헤더후보 노드는 클러스터 헤더를 포기한다. 이것은 확률값으로 선출된 헤더가 일정한 거리를 두고 선출되게 하여, 가까운 위치의 클러스터 헤더가 선출되는 것을 막고, 클러스터 영역을 균등하게 한다.

선출된 클러스터 헤더는 ‘쿼리’ 메시지를 보낸 클러스터 헤더를 라우팅 경로의 다음 홉으로 지정하고, 홉수를 1증가하여 라우팅 경로를 설정한 후, 다시 ‘쿼리’ 메시지를 방송한다. 이 과정은 모든 센서 네트워크 영역에서 클러스터 구조가 생성되고, 전체 라우팅 경로가 설정될 때까지 계속된다.

다음은 제한하는 단일홉 클러스터 간 연결구조와 라우팅 경로 생성의 전체 알고리즘이다.

본 연구에서 제안하는 기법은 클러스터 생성과 동시에 라우팅 경로를 구성하여 지연을 줄이고, 제어 메시지의 수를 최소화한다.

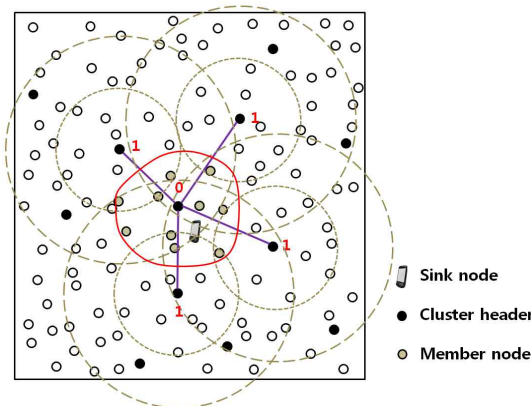


Fig. 5. Clustering and routing path process.

1. 싱크 노드는 자신의 원홉 노드 중에 초기 클러스터 헤더를 선출
2. 싱크 노드는 초기 클러스터 헤더에게 ‘쿼리’ 메시지를 전송
3. 초기 클러스터 헤더는 ‘쿼리’ 메시지를 전송
4. 쿼리 메시지를 수신한 노드
 - (1) ‘Signal Strength threshold’ 이상의 신호세기로 수신한 노드는 해당 클러스터 헤더에게 ‘조인 (Join)’ 메시지 전송하여 클러스터의 멤버가 됨
 - (2) ‘Signal Strength threshold’ 이하의 신호세기로 수신한 노드는 확률적 방법으로 클러스터 헤더 선출을 수행
 - ① 확률값으로 헤더로 선출된 헤더후보 노드는 ‘헤더후보(Header Candidate)’ 메시지를 방송
 - ② 선출된 헤더후보 노드가 ‘헤더후보’ 메시지를 수신할 때, ‘Signal Strength threshold’ 이상을 수신한 노드는 헤더 포기
 - (3) 선출된 클러스터 헤더는 이전 ‘쿼리’ 메시지를 보낸 클러스터 헤더를 다음홉으로 지정하고, 홉수를 1증가하여 라우팅 정보를 갱신
 - (4) 클러스터 헤더는 홉수를 포함하여 ‘쿼리’ 메시지를 방송
 - (5) 모든 영역이 클러스터링이 될 때까지 4(1)로 돌아가서 반복

Fig. 6은 위의 알고리즘을 실행한 후 구성된 라우팅 경로와 각 클러스터 헤더가 가지는 라우팅 테이블 정보이다. 싱크 노드가 선출한 초기 클러스터 헤더 a를 루트로 하여, 트리구조의 라우팅 경로가 설정된 것을 보인다.

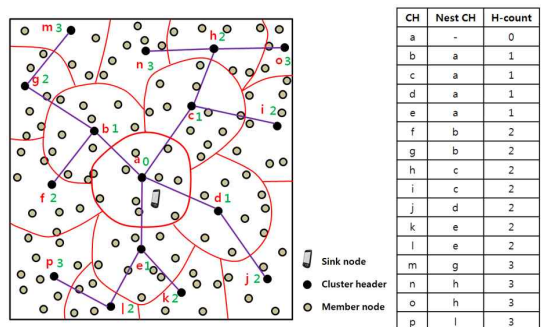


Fig. 6. Cluster header routing path and routing table.

2.2 싱크 노드의 이동성 지원

싱크 노드의 이동성을 지원하기 위해서, 클러스터

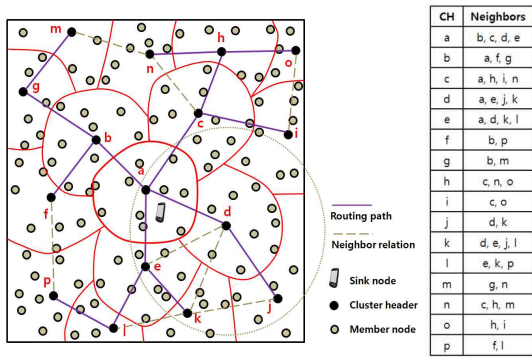


Fig. 7. Hello message broadcasts and neighbor cluster header lists.

헤더는 ‘이웃 클러스터 헤더 목록’을 유지한다. 클러스터 헤더가 라우팅 경로를 지정한 후, ‘이웃 클러스터 헤더 목록’을 생성하기 위해서, 클러스터 헤더는 자신의 클러스터 id정보를 포함하는 ‘Hello’ 메시지를 방송한다. 이 메시지를 수신하는 클러스터 헤더는 이웃 클러스터 헤더를 인식하고, ‘이웃 클러스터 헤더 목록’을 생성한다. Fig. 7은 클러스터 헤더가 ‘Hello’ 메시지를 방송하고, 생성된 ‘이웃 클러스터 헤더 목록’을 보여준다. 클러스터 헤더 d의 이웃은 클러스터 헤더 a, e, j, k로 삼각구조의 경로가 아닌 클러스터 j, k도 이웃관계인 것을 보인다.

싱크 노드는 자신의 존재를 알리기 위해서 주기적으로 ‘비콘’ 신호를 방송한다. 클러스터 헤더가 일정 신호 임계치 이상의 ‘비콘’ 신호를 수신하면, 해당 클러스터 헤더는 싱크가 자신의 영역으로 이동하는 것을 인식하고, ‘이웃 클러스터 헤더 목록’의 이웃 클러스터 헤더에게 자신의 클러스터 ID와 홉수 0을 포함하여 ‘싱크 이동’ 메시지를 전송한다. Fig. 8은 싱크 노드가 이동함에 따라서, 새로운 클러스터 헤더가 받는 신호세기의 변화와 ‘Routing signal strength threshold’를 보여준다. 새로운 클러스터 헤더는 싱크 노드로부터 받는 메시지의 신호세기가 ‘Routing signal strength threshold’ 일때, ‘이웃 클러스터 헤더 목록’의 클러스터 헤더에게 ‘싱크 이동’ 메시지를 전송한다.

‘싱크 이동’ 메시지를 수신한 클러스터 헤더는 ‘싱크 이동’ 메시지에 포함된 클러스터 ID로 다음홉을 지정하고, 홉수를 1 증가하여 라우팅 정보를 갱신하고, 다운스트림 클러스터 헤더에게 ‘싱크 이동’ 메시지를 전송한다. 2개 이상 ‘싱크 이동’ 메시지를 수신

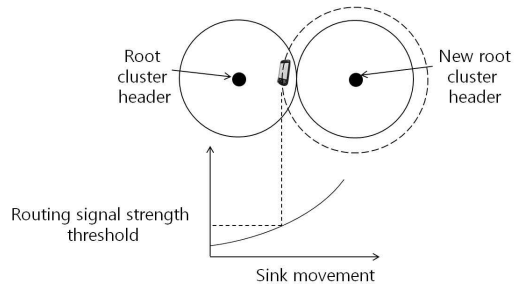


Fig. 8. New root cluster header's signal strength received from the sink node and routing signal strength threshold.

하는 클러스터 헤더는 홉수를 기반으로 경로를 결정한다.

라우팅 갱신과정에서 전송되는 데이터 메시지는 이전 경로의 루트 클러스터 헤더가 수신한 후, 새로운 경로의 클러스터 헤더에게 전송하여, 메시지 손실을 막는다.

Fig. 9(a)에서 싱크 노드는 클러스터 a의 영역에서 클러스터 c의 영역으로 이동한다. 클러스터 c는 이웃 클러스터 목록의 a, i, h, n에게 ‘싱크 이동’ 메시지를 전송한다. ‘싱크 이동’ 메시지를 수신한 클러스터 a, i, h, n는 클러스터 c를 다음홉으로 지정하고, 홉수를 1로 설정하고, 다운스트림 클러스터 헤더에게 메시지를 전송하여 경로를 설정한다. Fig. 9(b)는 변경된 라우팅 경로의 결과를 보여준다.

Fig. 9(c)에서 싱크 노드가 클러스터 c의 영역에서 클러스터 d의 영역으로 이동한다. 클러스터 d는 이웃

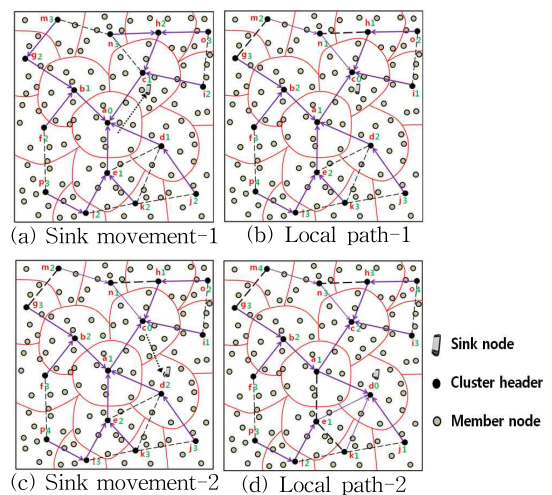


Fig. 9. Support for sink movements.

클러스터 목록의 a, e, k, j에게 ‘싱크 이동’ 메시지를 전송한다. ‘싱크 이동’ 메시지를 수신한 클러스터 a, e, k, j는 클러스터 d를 다음홉으로 지정하고, 홉수를 1로 설정한다. ‘싱크 이동’ 메시지를 수신한 클러스터 a, e, k, j는 클러스터 d를 다음홉으로 지정하고, 다운스트림 클러스터 헤더에게 메시지를 전송하여 경로를 설정한다. Fig. 9(d)는 변경된 라우팅 경로의 결과를 보여준다.

3. 실험 결과

제안한 방식의 싱크 이동성지원 CMS 기법의 에너지 사용의 효율성을 검증하기 위해서 실험을 수행하였다. 비교 대상 프로토콜은 기존의 확률기반 클러스터 기법과 대표적인 격자 구조 프로토콜인 TTDD를 사용하였다. C를 이용하여 100m × 100m의 영역에 150개의 노드를 임의로 배치하고, 100번 실험하여 평균값을 실험의 결과로 나타내었다. 확률방식의 클러스터 헤더전송을 위한 확률은 0.15, 전송범위는 30m, 신호세기임계치 거리범위 20m, 제어 메시지 512 kbit, 데이터 메시지 2048kbit, 에너지 모델은 (1)[16]을 사용하였다.

$$E_{Tx}(k, d) = \begin{cases} k * E_{elec} + k * \epsilon_{fs} * d^2 & (d < d_0) \\ k * E_{elec} + k * \epsilon_{mp} * d^4 & (d \geq d_0) \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k$$

Table 1은 제어 메시지로 소모된 에너지의 양을 나타낸다. Fig. 10은 초기 클러스터 및 격자 구조 생성과 라우팅 경로 설정의 제어 메시지를 송수신하는데 사용된 에너지의 양을 나타낸다. 확률적 클러스터링 방법이 에너지 소모가 가장 크고, TTDD와 제안하는 기법은 제어 메시지로 인한 에너지 소모가 작은 것으로 나타난다. 제안하는 방법은 쿼리 메시지 방송으로 클러스터링과 라우팅 경로 설정이 동시에 이루어지므로 제어 메시지의 수가 확률적 방식에 비해서 작은 원인으로 분석된다. TTDD 방식에서는 격자를

Table 1. Amount of energy consumption based on the control messages

	Initial Path	Movement1	Movement2	Movement3
Probability	0.0123441	0.0014601	0.0015341	0.0016070
TTDD	0.0112000	0.0000725	0.0000728	0.0000727
CMS	0.0109573	0.0000734	0.0000735	0.0000733

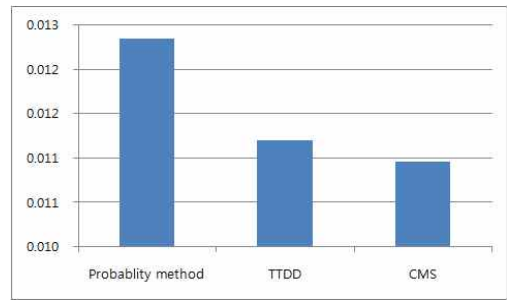


Fig. 10. Amount of initial routing paths and clustering control messages.

구성하고, 라우팅 경로를 구성하는데 확률적 방식에 비해서 작은 것은 확률적 방식에서 클러스터 헤더를 제외한 모든 노드들이 멤버로써 클러스터에 가입하기 위한 조인 메시지를 전송하는데, TTDD 방식에서는 전파 노드를 제외한 노드들이 전파 노드에 가입하는 제어 메시지를 전송하지 않는 이유로 분석된다.

Fig. 11은 싱크 노드가 해당 범위를 넘어 이동할 때, 라우팅 경로를 재설정하기 위해서 발생하는 제어 메시지로 인해서 소모되는 에너지의 양을 나타낸다. 확률적 방식에 비해서, TTDD와 제안한 기법은 월등히 적은 것으로 나타난다.

Table 2와 Fig. 12는 제어 메시지와 데이터 메시지에 기반한 에너지 소모의 총합을 나타낸다. 초기 제어 메시지와 데이터로 소모되는 에너지의 양은 3가지 기법에서 작은 크기로 성능 차이를 보인다. 싱크가 이동하는 경우, Fig. 11에서 TTDD의 지역적 라우팅 경로 갱신으로 발생하는 메시지는 작으므로 에너지 소모가 작은 반면, Fig. 12에서 TTDD 기반 네트워크에서 데이터 전송과 함께 소모되는 양을 비교한 결과는 매우 큰 것으로 나타난다. 이것은 격자 구조

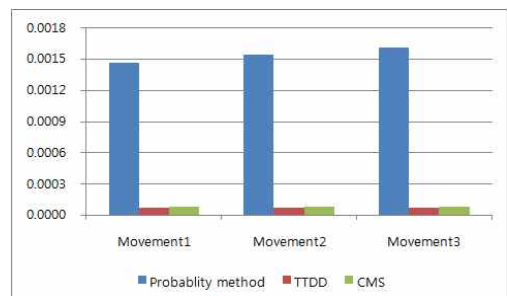


Fig. 11. Amount of routing path control messages for sink movements.

Table 2. Amount of energy consumption based on the control and data messages

	Initial Path	Movement1	Movement2	Movement3
Probability	0.0175284	0.0069327	0.0072950	0.0070796
TTDD	0.0160033	0.0107140	0.0107174	0.0107130
CMS	0.0152825	0.0043988	0.0043986	0.0043987

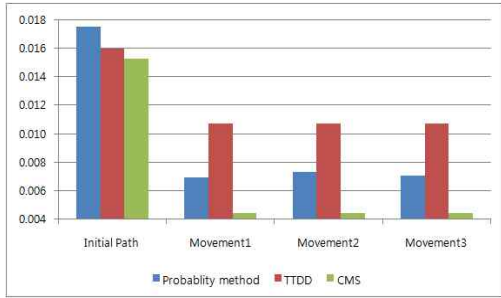


Fig. 12. Amount of energy consumption based on the control and data messages.

에서 전파 노드의 구성이 일반 클러스터 구조에서 보다 많은 대표 노드의 구성이 발생하고, 이것으로 인해서 싱크로 데이터를 전송하기 위해서 전송에 참여하는 전파 노드의 수가 많은 이유로 분석된다.

Table 3과 Fig. 13은 싱크가 이동성을 가지는 환경에서 데이터 전송회수의 증가에 따라 살아있는 노드

Table 3. The number of remaining nodes based on the number of transmissions

The number of transmissions	400	800	1200	1600	2000	2400	2800
Probability method	150	150	141	100	70	23	23
TTDD	150	144	104	58	30	13	9
CMS	150	149	136	104	73	49	38

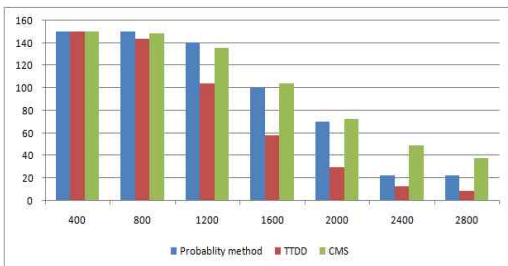


Fig 13. The number of remaining nodes based on the number of transmissions.

수를 보여준다. 제안하는 방식이 TTDD 보다 월등히 뛰어나고, 확률적 방식에 비해서도 더 나은 성능을 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 클러스터 센서 네트워크에서 싱크 노드의 이동성을 지원하는 CMS 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 싱크 노드의 이동성을 신속하게 지원하기 위해서 라우팅 경로의 재설정 없이 지역적인 라우팅 경로의 수정으로 싱크 노드가 속한 클러스터 헤더로 경로를 설정한다. 또한 제안하는 기법은 클러스터간 단일홉을 지원하는 클러스터 구조를 생성하여, 게이트웨이 선출 없이 라우팅 경로를 구성하고, 클러스터 구조 생성과 동시에 라우팅 경로를 설정하여, 제어 메시지의 수를 최소화하였다.

실험 결과는 기존의 클러스터링 프로토콜과 격자 구조 프로토콜에 비해서, 초기 제어 메시지와 이동시 발생하는 제어 메시지를 비교할 때, 보다 나은 성능을 나타낸다. 데이터 전송에서 에너지 효율의 비교에서도, 비교 대상의 프로토콜보다 더 나은 성능을 보인다. 데이터 전송회수에 따른 남아있는 노드의 수의 실험에서도 제안하는 기법이 가장 좋은 성능을 나타낸다. 남아있는 노드가 많을수록 데이터 수집에 QoS를 제공한다. 위의 결과로 분석할 때, 제안하는 기법은 최소한의 제어 메시지로 싱크 노드의 이동을 지원하고, 제한된 센서 노드의 에너지를 효율적으로 사용하는 것을 보인다. 향후 연구로써 좀 더 다양한 싱크 노드의 이동에 대한 실험과 프로토콜에 대한 연구를 진행할 계획이다.

REFERENCE

[1] D.M. Choi, S.M. Moh, and I.Y. Chung, "An Energy Efficient Variable Area Routing Protocol in Wireless Sensor Network," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 11, No. 8, pp. 1082-1092, 2008.

[2] X. Yu, P. Wu, W. Han, and Z. Zhang, "A Survey on Wireless Sensor Network Infrastructure for Agriculture," *Computer Standards and Interfaces*, Vol. 35, Issue 1, pp. 59-64, 2013.

- [3] Z. Han, J. Wu, J. Zhang, L. Liu, and K. Tian, "A General Self-Organized Tree-Based Energy-Balance Routing Protocol for Wireless Sensor Network," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 61, Issue 2, pp. 732-740, 2014.
- [4] H. Salarian, K.W. Chin, and F. Naghdy, "An Energy-Efficient Mobile-Sink Path Selection Strategy for Wireless Sensor Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 63, Issue 5, pp. 2407-2419, 2014.
- [5] C. Tunca, S. Isik, M.Y. Donmez, and C. Ersoy, "Distributed Mobile Sink Routing for Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, Vol. 16, Issue 2, pp. 877-897, 2014.
- [6] S. Ghafoor, M.H. Rehmani, S.h. Cho, and S.H. Park, "An Efficient Trajectory Design for Mobile Sink in a Wireless Sensor Network," *Computers and Electrical Engineering*, Vol. 40, Issue 7, pp. 2089-2100, 2014.
- [7] C.F. Wang, J.D. Shih, B.H. Pan, and T.Y. Wu, "A Network Lifetime Enhancement Method for Sink Relocation and Its Analysis in Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 14, Issue 6, pp. 1932-1943, 2014.
- [8] A.W. Khan, A.H. Abdullah, M.A. Razzaque, and J.I. Bangash, "VGDR: A Virtual Grid-Based Dynamic Routes Adjustment Scheme for Mobile Sink-Based Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 15, Issue 1, pp. 526-534, 2015.
- [9] M. Abo-Zahhad, S.M. Ahmed, N. Sabor, and S. Sasaki, "Mobile Sink-Based Adaptive Immune Energy-Efficient Clustering Protocol for Improving the Lifetime and Stability Period of Wireless Sensor Networks," *IEEE Sensors Journal*, Vol. 15, Issue 8, pp. 4576-4586, 2015.
- [10] W.R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," *Proceeding of The Hawaii International Conference on System Science*, pp. 1-10, 2000.
- [11] H.d. Kim, B.S. Yu, and W.I. Choi, "Energy Efficient Clustering Scheme in Sensor Networks using Splitting Algorithm of Tree-based Indexing Structures," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 13, No. 10, pp. 1534-1546, 2010.
- [12] D.M. Choi, J. Shen, S.M. Moh, and I.Y. Chung, "Data Prediction Strategy for Sensor Network Clustering Scheme," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 14, No. 9, pp. 1138-1151, 2011.
- [13] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "A Two-Tier Data Dissemination Model for Large Scale Wireless Sensor Network," *Proceeding of the ACM Annual Conference of Mobile Computing and Networking*, pp. 148-159, 2002.
- [14] S.H. Sho and S.H. Kim, "TTCG : Three-Tier Context Gathering Technique for Mobile Devices," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 14, Issue 1, pp. 64-72, 2009.
- [15] Z. Chen, S. Liu, and J. Huang, "Multi-Tier Grid Routing to Mobile Sink in Large Scale Wireless Sensor Networks," *Journal of Networks*, Vol. 6, pp. 765-773, 2011.
- [16] M. Wu, H.J. Park, and C.G. Kim, "Multihop Routing Based on the Topology Matrix in Cluster Sensor Networks," *Journal of The Institute of Signal Processing and Systems*, Vol. 14, No. 1, pp. 45-50, 2013.



우 매 리

1996년 영남대학교 수학과 이학사

2001년 영남대학교 컴퓨터공학과 공학석사

2005년 영남대학교 컴퓨터공학과 공학박사

2005년 영남대학교 컴퓨터공학과 강의교수

현재 영남신학대학교 컴퓨터교양 교수

관심분야: 소셜 네트워크, 네트워크 보안, 무선 네트워크, 센서 네트워크, 빅데이터, IOT