

모바일 센서 네트워크에서 최단거리 멀티홉 전송을 위한 강한연결 클러스터 기법

우 매 리[†]

Strong Connection Clustering Scheme for Shortest Distance Multi-hop Transmission in Mobile Sensor Networks

Mary Wu[†]

ABSTRACT

Since sensor networks consist of sensor nodes with limited energy resources, so efficient energy use of sensor nodes is very important in the design of sensor networks. Sensor nodes consume a lot of energy for data transmission. Clustering technique is used to efficiently use energy in data transmission. Recently, mobile sink techniques have been proposed to reduce the energy load concentrated on the cluster header near a sink node. The CMS(Cluster-based Mobile sink) technique minimizes the generation of control messages by creating a data transmission path while creating clusters, and supports the inter-cluster one-hop transmission. But, there is a case where there is no connectivity between neighbor clusters, it causes a problem of having a long hop data transmission path regardless of local distance. In this paper, we propose a SCBC(Strong connection balancing cluster) to support the path of the minimum number of hops. The proposed scheme minimizes the number of hops in the data transmission path and supports efficient use of energy in the cluster header. This also minimizes a number of hops in data transmission paths even when the sink moves and establishes a new path, and it supports the effect of extending the life cycle of the entire sensor network.

Key words: Mobile Sink, Energy Efficiency, Strong Connection Cluster, Minimum Multihop Path, Balanced Cluster Structure

1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 주변 환경을 모니터링하고 제어하는데 사용된다. 센서는 감지 대상 지역에 임의로 배치되어 환경 데이터를 수집하고, 이러한 데이터는 싱크 노드에게 전송되고, 싱크 노드가 받은 데이터들은 어플리케이션에서 가공되어 사용자에게 제공된다. 일반적으로 배터리 파워로 동작하는 센서 노드는 감지 대상 지역에 배치

된 이후에는 충전이 불가능하며, 센서 네트워크는 배터리 파워를 재공급하지 않고 몇 달 또는 일년 정도의 기간동안 동작한다[1]. 센서 네트워크에서 제한적인 에너지 자원을 가지는 센서의 에너지를 효율적으로 사용하도록 설계하는것은 매우 중요하다[1-3].

센서는 네트워크에 임의로 배치되어 주기적으로 데이터를 수집하고, 수집된 데이터는 멀티홉 전송을 통해서 싱크 노드로 전송한다. 싱크 노드에 근접한 노드는 잦은 회수로 데이터를 싱크로 전달하며, 이러

※ 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: Mar. 2, 2018, Revision date: May 3, 2018
Approval date: May 4 2018

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

한 과정에서 에너지가 빨리 소진된다. 센서 노드의 에너지가 모두 소진되면, 해당 영역의 데이터 수집에 있어서 센서 네트워크의 단절이 발생하고, 데이터 전송이 중단되는 경우가 발생한다. 싱크 노드가 원활하게 데이터를 수집하지 못하는 경우, 센서 응용 어플리케이션은 사용자에게 좋은 품질의 서비스를 제공하지 못한다. 센서 노드의 불균등한 에너지 소모로 인한 네트워크 단절 현상을 줄이기 위해서, 싱크가 센서 네트워크 지역을 이동하며 센서 노드로부터 데이터를 수집하여, 싱크 노드 주변 노드에 집중되는 에너지를 분산시키는 모바일 싱크가 많이 연구되고 있다[4-5].

모바일싱크 기법은 싱크가 미리 결정된 경로로 움직이는 경로 기법과 네트워크 상황에 따라 최적의 경로로 움직이는 상황기반 경로, 그리고 이동경로가 미리 정해지지 않고 사용자에 의해서 자율적으로 이동하는 경로 기법이 있다. Fig. 1(a)는 싱크 노드의 미리 결정된 경로를 보여주고, Fig. 1(b)는 상황기반 경로 또는 자율적으로 이동하는 경로를 보여준다.

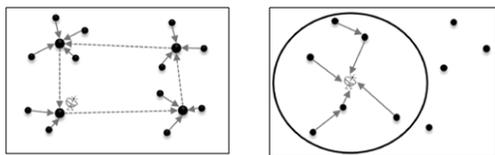
미리 결정된 경로로 이동하는 방법은 싱크 노드가 정해진 트랙이나 앵커 포인트를 기반으로 일정하게 이동하며 데이터를 수집한다. MobiCluster[6]에서 모바일 싱크는 고정된 경로로 이동하는 버스에 탑재되어 주기적인 스케줄로 이동한다. 센서 노드들은 클러스터 구조로 그룹화되고, 클러스터 헤더는 클러스터 데이터를 필터링과 집약과정을 거친후, 멀티홉을 통해서 싱크 노드로 전송한다. 클러스터는 채널 경쟁, 패킷 충돌을 줄이고, 데이터 포워딩 에너지 소모를 줄여서, 센서 노드의 제한된 에너지를 효율적으로 사용되게 한다. 싱크가 일정한 경로로 이동하는 상황에서, 싱크 이동 경로상에 위치한 클러스터는 만남지점 노드(RN, rendezvous node)를 선출하고, 싱크는 RN 노드를 방문하여 수집된 데이터를 수집한다. RN 노드는 수집된 데이터를 싱크로 전달하는 역할을 담

당하므로, 센서 노드 중에 충분한 에너지를 가진 노드가 주기적으로 선출된다. 이 방식은 싱크가 버스에 탑재되어 버스의 이동경로에 따라 싱크가 이동할 때 적용하는 방식이다.

다른 방식의 미리 결정된 경로로 이동하는 기법으로 육각형 기반 싱크 경로기법[2]은 센서 영역이 육각형 타일 형태로 구조화되고, 싱크 노드들은 동기화되어 육각형 가장자리의 안쪽 부분을 일정한 거리를 유지하면서 이동한다. 육각형 영역안의 센서 노드는 멀티 홉을 통해서, 육각형 모서리에 위치한 노드에게 센서 데이터를 전송하고, 싱크는 육각형 모서리에서 일정시간동안 센서 데이터를 수집한다. 이러한 고정경로의 싱크이동은 특별한 상황에 적합한 방식으로 간주되어진다.

네트워크 상황에 따라 최적의 경로로 싱크가 움직이는 기법으로 WAR(Weighted rendezvous planning)[7]가 있다. WAR는 센서 노드의 잔여 에너지와 센싱 어플리케이션의 데이터 수집 지연을 기반으로 싱크의 이동 경로를 결정한다. 이 방식은 센서 네트워크의 에너지 효율성과 지연에 민감한 센서 응용 어플리케이션에 대해서 좋은 품질의 서비스를 지원한다. 모바일 싱크의 이동 경로를 결정하는 RP 지점의 선출을 위해서 센서 토폴로지와 거리정보, 모바일 싱크의 이동 속도 등의 전체 센서 네트워크의 정보를 기반으로 가중치기반 알고리즘을 사용한다. 모바일 싱크는 선출된 RP로 이동하여 데이터를 수집하고, 센서 노드는 멀티홉을 통해서 RP로 데이터를 전송한다. 이 방식은 선출된 RP 노드의 에너지가 일정 임계치에 달하면 새로운 RP가 선출되어 데이터가 전송된다. 이 방식은 싱크가 선출된 RP로 이동하기 위해서 RP의 위치를 인식하는 추가과정이 요구된다.

싱크 노드의 자율적인 이동을 지원하는 기법으로 MLRP(Multi-stage data Routing Protocol)[8]이 있다. 이 방식은 모바일 싱크의 위치를 기준으로 계층적 트리를 구성한다. 모바일 싱크는 이웃 센서 노드 중에서 하나의 노드를 앵커 노드로 선출한 후, interest 메시지를 방송하여, 앵커 노드를 루트로 하는 트리경로를 생성한다. 센서 노드들은 생성된 트리 경로를 통해서 앵커 노드에게 센서 데이터를 전송한다. 이 방식은 싱크의 이동위치에 따라 트리 경로를 갱신하여 싱크의 이동성의 제약이 없이 사용자에게 센서 어플리케이션 서비스를 지원한다. 그러나, 이 방식은



(a) Pre-determined path (b) Efficiency-based path or Autonomous path

Fig. 1. Mobile sink route.

싱크가 이동할 때마다 싱크 위치를 기준으로 트리 경로를 생성하거나 추가 경로 갱신 과정이 필요하므로 경로 생성을 위한 제어메시지 오버헤드가 발생한다.

TRAIL(Trail-based forwarding random walk)[9]은 싱크의 자유로운 이동성을 지원하기 위해서, 센서 노드는 싱크 노드의 이동 경로 테이블을 가진다. 싱크 경로를 가지지 않은 센서 노드가 데이터를 감지하면, 싱크 노드의 경로를 가진 센서 노드가 데이터를 수신할 때까지 데이터 메시지를 방송한다. 싱크 경로를 가진 센서 노드가 데이터 메시지를 수신하면, 싱크 이동 경로 테이블의 경로로 데이터를 전송한다. 이 방식은 센서 이동 경로를 가진 센서 노드가 메시지를 수신할 때까지 데이터를 방송하는 점에서, 많은 센서 노드가 데이터 전송에 참여하므로 많은 에너지 소모가 발생한다.

TTDD(Two-Tier Data Dissemination)[10]는 대표적인 격자 기반 센서 네트워크 프로토콜로써, 이 프로토콜을 기반으로 많은 연구가 진행되고 있다. 소스 노드가 데이터를 감지하면, 소스 노드를 격자 지점으로 하여 격자 구조 센서 네트워크가 생성된다. 격자 구조 네트워크에서 싱크 노드는 '쿼리' 메시지를 전송하고, 이 메시지는 가장 가까운 격자 지점 노드가 수신하고, 해당 노드는 이 메시지를 다시 이웃 격자 지점 노드로 전송한다. 이 과정을 통해서 소스 노드에서 싱크로의 데이터 전송 경로가 설정되고, 소스 노드는 설정된 경로로 데이터를 전송한다. 싱크 노드가 설정된 라우팅 경로에서 벗어날 경우, 전체 라우팅 경로가 재설정되지 않고, 지역적인 경로 갱신을 지원한다. 지역적인 경로 갱신으로 싱크의 이동성을 지원하여 라우팅 제어 메시지의 에너지 소모를 줄이고, 싱크의 자유로운 이동성을 보장한다. 그러나 이러한 격자 구조 센서 네트워크와 프로토콜을 지원하기 위해서 센서 노드들이 자신의 위치 정보를 인식해야 한다. 제한된 자원을 가지는 센서 노드에 GPS를 탑재하거나 다른 위치정보처리를 수행하는 것은 비용측면에서 비효율적이다.

GBEER(Grid-Based Energy Efficient Routing Protocol) [11]는 이벤트가 발생할 때마다 격자구조를 생성하지 않고, 한번 격자구조를 생성한 후 영구적으로 격자구조를 유지하여, 격자구조를 생성할 때 발생하는 제어 메시지 오버헤드를 줄인다. 그러나 이 방식도 노드의 위치정보를 필요로 하므로, 비용측면

에서 비효율적이다.

모바일 싱크의 에너지 효율적인 경로와 자율적인 이동성을 지원하기 위한 프로토콜로써 CMS(Cluster-based Mobile sink)[12] 기법이 있다. 이 방식은 클러스터 기반 라우팅을 지원하여, 데이터 전송에 사용되는 노드의 효율성을 증가시키고, 클러스터 헤더 선출 과정과 동시에 싱크로 부티의 데이터 전송경로가 설정되어 제어 메시지를 최소화한다. 또한 클러스터 전송경로는 클러스터간 원홉 경로를 지원하여, 데이터 전송경로 설정과정을 단순화하고, 멀티홉 데이터 전송의 에너지 효율성을 제공한다. 싱크가 다른 클러스터로 이동할 때, 싱크의 이동을 인식한 클러스터 헤더는 자신의 원홉 이웃 클러스터에게 싱크의 이동을 알림으로 데이터 전송경로를 갱신하고, 끊임없는 데이터 전송을 지원한다. 그러나, 이 방식은 물리적으로 가까운 위치에 있는 클러스터가 원홉 이웃관계가 없을 경우, 많은 홉수의 데이터 전송 경로를 가지는 경우가 발생하고, 데이터 전송경로가 비효율적으로 구성되는 경우가 발생한다. 이것은 자율적으로 싱크가 이동할 때, 비효율적인 경로를 생성하고, 데이터 전송경로를 원활하게 지원하지 못하는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 관련 연구[12]의 전송경로의 비효율성을 보완하기 위해서, 클러스터 헤더간 강한 연결을 제공하는 SCBC(Strong connection balancing cluster) 기법을 제안한다. 이 방법은 클러스터 환경에서 최소의 멀티홉 데이터 전송경로 및 균형적인 클러스터 구조를 생성하고, 싱크의 이동하는 환경에서 효율적인 경로설정을 지원한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문의 기반이 되는 클러스터 기반 모바일 싱크 기법 CMS를 소개하고, 3장에서는 제안하는 SCBC 기법의 알고리즘과 싱크 이동시 경로설정 과정을 기술한다. 4장에서는 기존 기법과의 성능평가를 통해서 제안하는 기법의 우수성을 보이고, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 연구 결과와 향후 연구방향에 대해서 설명한다.

2. 관련 연구

CMS 기법은 싱크 노드의 위치를 기준으로 계층적 클러스터 구조를 생성하는 과정에서 데이터 전송 경로를 구성한다. 이것은 클러스터 생성 및 데이터

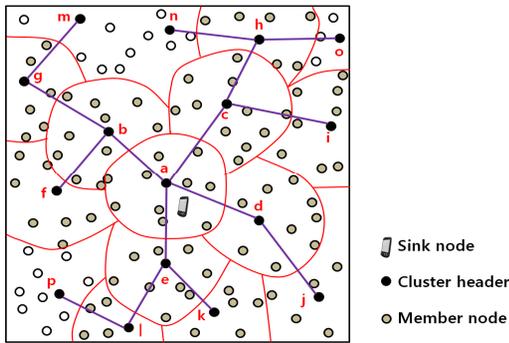


Fig. 2. The creation of clusters and the routing path.

전송경로를 구성하는데 소모되는 제어 메시지의 수를 최소화한다. 또한 CMS 기법으로 구성된 전송경로는 클러스터간 게이트웨이 없는 원홉 경로를 제공한다. Fig. 2는 CMS 기법을 사용하여 클러스터 구조에서 게이트웨이 없는 클러스터 헤더로 구성된 라우팅 경로를 보인다. 클러스터 헤더를 루트로 하여 클러스터 헤더간에 원홉 연결로 계층적 경로가 설정된 결과를 보여준다.

그러나, 이 방식은 클러스터가 이웃관계에 있지만, 클러스터간 원홉 전송 경로를 가지지 못하는 경우에, 물리적으로 가까운 위치에 클러스터가 있다고 하더라도, 클러스터간 전송 경로가 없는 경우에 다른 클러스터를 통해서 매우 긴 데이터 전송경로를 가질 수 있다.

Fig. 3(a)는 센서 네트워크에서 CMS 방식을 사용하여 클러스터를 구성함과 동시에 싱크를 목적지로

하여 데이터 전송경로가 설정된 것을 보인다. C_{38} 클러스터는 루트 클러스터 C_{30} 으로부터 가까운 위치에 있지만, C_{29} 클러스터와 이웃관계를 가지지 못하여, 최종적으로 11홉의 경로를 가진다. C_{37} 클러스터도 루트 클러스터 C_{30} 으로부터 가까운 위치에 있지만, 10홉의 경로를 가진다. 즉, 클러스터간에 약한 이웃관계를 가지는 구조에서는 물리적으로 가까운 위치에 있더라도 많은 홉수의 데이터 전송 경로를 가지는 결과를 보여준다.

Fig. 3(b)는 이웃 클러스터간 강한 연결을 가지는 클러스터 구조에서 데이터 경로를 보여준다. C_{38} 클러스터는 루트 클러스터 C_{30} 으로부터 2홉의 경로를 가지고, C_{37} 클러스터는 3홉의 경로를 가진다. 약한 클러스터 이웃관계를 가지는 Fig. 3(a)는 평균 5.38 홉수 경로를 가지고, 강한 클러스터 이웃관계를 가지는 Fig. 3(b)는 3.82 홉수 경로를 가진다. 데이터 전송홉수가 클수록 클러스터 헤더가 전송하는 데이터의 크기가 커지고, 클러스터 헤더의 전송 에너지가 많이 소모된다. 클러스터 헤더가 에너지를 소진할 경우, 이로인해 새로운 클러스터 헤더 선출과 데이터 전송경로의 설정이 요구된다. 이러한 구조는 노드의 에너지를 비효율적으로 사용하게 한다.

3. 강한연결 균형 클러스터 경로 설정방법

본 논문은 관련 연구[12]의 문제점을 보완하기 위해서, 최소 홉수의 멀티홉 전송경로를 설정하기 위한 강한연결 및 균형 클러스터 구조를 생성하는 SCBC

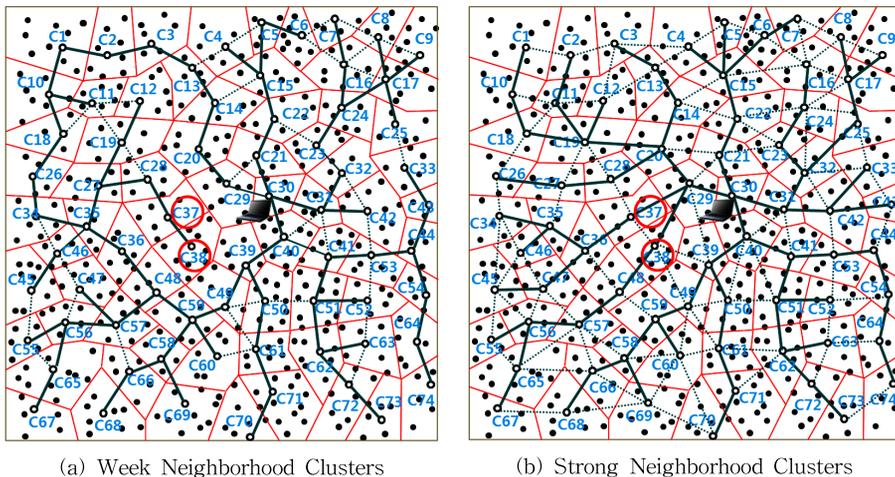
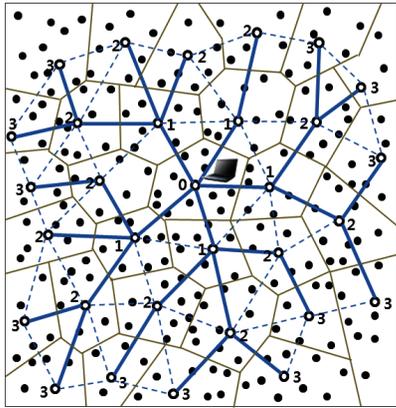


Fig. 3. Data Transmission Route.



— Routing Path
 - - - One-hop neighbor between clusters

Fig. 4. The example of Cluster Structure and Data Transmission Route in SCBC.

기법을 제안한다. 제안하는 기법은 클러스터 생성 과정을 통해서 싱크로 데이터 전송경로가 동시에 설정되고, 싱크가 이동할 경우, 원활한 데이터 전송경로를 제공한다.

3.1 강한연결 클러스터 구조 및 데이터 전송경로

제안하는 기법은 클러스터간 원홉 연결을 지원하는 클러스터 헤더를 순차적으로 선출하여 강한연결 및 균형 클러스터 구조를 생성한다. Fig. 4는 제안하는 SCBC 기법으로 생성된 데이터 전송경로를 보여준다. 이웃 클러스터간 강한연결 구조에 기반하여 데이터 전송경로는 클러스터의 물리적 위치에 따라 최소 홉수로 구성된다.

클러스터 구성 및 데이터 전송경로를 설정하기 위해서, 싱크 노드 주위에 노드 중 하나가 레벨 0 클러스터 헤더로 선출된다. 싱크 노드는 Hello 메시지를 방송하고, 싱크의 Hello 메시지를 수신한 센서 노드는 응답 메시지를 전송한다. 싱크는 응답 메시지를 보낸 노드 중 신호세기를 기반으로 하나를 선택하여,

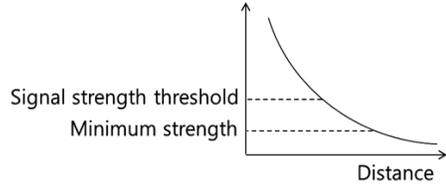


Fig. 6. Signal strength threshold model.

레벨 0 클러스터 헤더로 선출하고, ‘클러스터 헤더 선출’ 메시지를 전송한다. ‘클러스터 헤더 선출’ 메시지를 수신한 노드는 클러스터 헤더로 선출된다.

클러스터 헤더로 선출된 노드는 자신이 클러스터 헤더임을 알리는 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지를 방송한다. Fig. 5는 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지 형식을 보여준다.

레벨 0 클러스터 헤더는 클러스터 헤더 ID와 홉수 0을 포함하여 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지를 전송한다. ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지를 신호세기 임계치 이하로 수신하는 노드는 다음 클러스터 헤더 선출을 위하여, ‘클러스터 헤더 광고 응답’ 메시지를 전송한다. ‘클러스터 헤더 광고 응답’ 메시지에는 노드 ID와 잔여 에너지양을 포함한다. Fig. 6은 신호세기 임계치 이하로 모델을 보여주고, Fig. 7은 싱크 노드 주위의 레벨 0 클러스터 헤더가 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지를 전송하고, 이 메시지를 신호세기 임계치 이하로 수신하는 노드의 모델을 보여준다.

‘클러스터 헤더 광고 응답’ 메시지를 받은 클러스터 헤더는 잔여 에너지 양을 기반으로 하나의 노드를 다음 클러스터 헤더로 선출하고, 해당 노드에게 ‘클러스터 헤더 선출’ 메시지를 전송한다. 클러스터 헤더 노드는 일반 센서 노드에 비해서 데이터 전송으로 인한 에너지 소모가 많으므로, 에너지 잔여 에너지가 높은 노드를 클러스터 헤더로 선출하여 전체 네트워크의 에너지 소모를 효율적으로 사용한다. 이러한 과정을 반복적으로 실행하여, 전체 센서 네트워크의 클러스터 구조와 데이터 전송경로를 설정한다.

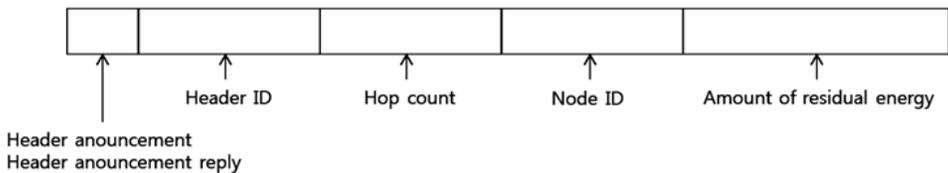
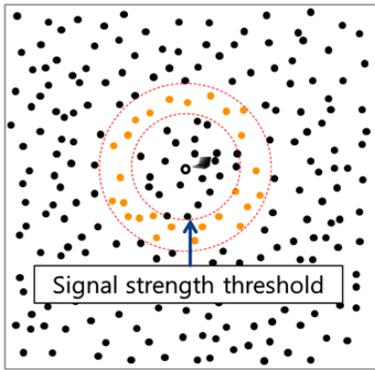


Fig. 5. Header announcement message.



- Cluster header
- Sensor node
- Sensor node which received below the signal strength threshold

Fig. 7. Signal strength threshold.

Fig. 8은 제안한 방식의 강한연결 클러스터 구조와 데이터 경로 설정의 과정을 보여준다. Fig. 8(a)는 싱크 주위의 노드가 레벨 0 클러스터 헤더로 선출되고, 레벨 0 클러스터 헤더가 레벨 1 클러스터 헤더로 선출한 후, 레벨 1 클러스터 헤더가 ‘클러스터 헤더

광고’ 메시지를 방송하는 것을 보인다. 레벨 1 클러스터 헤더를 선출하기 위해서, 레벨 0 클러스터 헤더는 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지를 전송하고, 이 메시지를 신호세기 임계치 이하로 수신하는 노드는 응답 메시지를 전송한다. 응답 메시지에는 노드 ID와 잔여 에너지양을 포함한다. 레벨 0 클러스터 헤더는 잔여 에너지양을 기준으로 하나의 노드를 레벨 1 클러스터 헤더로 선출하고, ‘클러스터 헤더 선출’ 메시지를 전송한다. 선출된 노드는 첫 번째 레벨 1 클러스터 헤더로 선출되고, ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지를 방송한다. ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지에는 클러스터 헤더 ID와 레벨 0 클러스터로부터의 홉수 1을 포함한다.

Fig. 8(b)는 레벨 1 계층의 다음 클러스터 헤더 선출을 과정을 보여준다. 홉수 0과 1의 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지를 신호세기 임계치 이하로 수신하는 노드는 레벨 0 클러스터 헤더로 응답 메시지를 전송한다. 응답 메시지에는 노드의 에너지양을 포함한다. 응답 메시지를 수신한 레벨 0 클러스터 헤더는 응답 메시지를 전송한 노드 중에 하나의 노드를 선택하여 ‘클러스터 헤더 선출’ 메시지를 전송하여 클러스터

1. 싱크 노드 레벨 0 클러스터 헤더 선출
 - ① 싱크는 Hello 메시지 방송
 - ② Hello 메시지를 수신한 노드는 응답 메시지 전송
 - ③ 싱크는 신호세기를 기반으로 하나의 노드에게 ‘앵커노드 선출’ 메시지 전송
 - ④ ‘앵커노드 선출’ 메시지를 받은 노드는 앵커 노드로 선출, 레벨 0 클러스터 헤더가 됨
2. 레벨 1 클러스터 초기 헤더 선출
 - ① 레벨 0 클러스터 헤더는 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지 방송(헤더 ID, 홉수 0)
 - ② 임계치 신호세기 이하로 수신하는 노드는 응답 메시지 전송(노드 ID, 잔여 에너지양)
 - ③ 레벨 0 클러스터 헤더는 잔여 에너지를 기반으로, 하나의 노드를 1단계 첫 클러스터 헤더로 선출하고 ‘클러스터 헤더 선출’ 메시지 전송
3. 레벨 i 클러스터 헤더 선출, $i=1, 2, 3, \dots, k$
 - ① 클러스터 헤더로 선출된 노드는 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지 방송(헤더 ID, 홉수 n)
 - ② 홉수 $i-1$, i 인 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지를 수신하거나 홉수 $i-1$ 인 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지를 임계치 신호세기 이하로 2개 수신하는 노드는 레벨 $i-1$ 클러스터 헤더로 응답 메시지 전송(헤더 ID, 잔여 에너지양)
 - ③ ②조건을 만족하는 노드가 없으면 레벨 i 과정 종료, i 를 1증가, ①로 돌아감
 - ④ 응답 메시지를 받은 레벨 $i-1$ 클러스터 헤더는 에너지양을 기준으로 레벨 i 클러스터 헤더를 선출하고 해당 노드에게 ‘클러스터 헤더 선출’ 메시지 전송
 - ⑤ ‘클러스터 헤더 선출’ 메시지를 받은 노드가 신호세기 임계치 이상의 ‘클러스터 헤더 광고’ 메시지를 받을 때, 헤더의 역할을 포기
 - ⑥ 레벨 i 의 클러스터 헤더는 레벨 $i-1$ 의 클러스터 헤더로 전송경로로 설정, 레벨 $i-1$ 의 전송경로가 2개인 경우, 임의로 하나만 선택하여 경로로 설정

헤더를 선출한다.

Fig. 8(c)는 Fig. 8(b)의 과정을 통해서 레벨 1 클러스터 헤더가 모두 선출된 결과를 보여준다. Fig. 8(d)는 홉수 1인 ‘클러스터 선출광고’ 메시지를 기반으로 레벨 2 클러스터 헤더가 선출된 결과를 보여주고, Fig. 8(e)는 홉수 1과 홉수 2인 ‘클러스터 선출 광고’

메시지를 기반으로 레벨 2 클러스터 헤더가 선출된 결과를 보여준다. Fig. 8(f)는 홉수 2인 ‘클러스터 선출 광고’ 메시지를 기반으로 레벨 3 클러스터 헤더가 선출된 결과를 보여준다.

‘클러스터 헤더 선출’ 메시지를 받은 노드는 클러스터 헤더가 되고, ‘클러스터 헤더 선출’ 메시지를 전

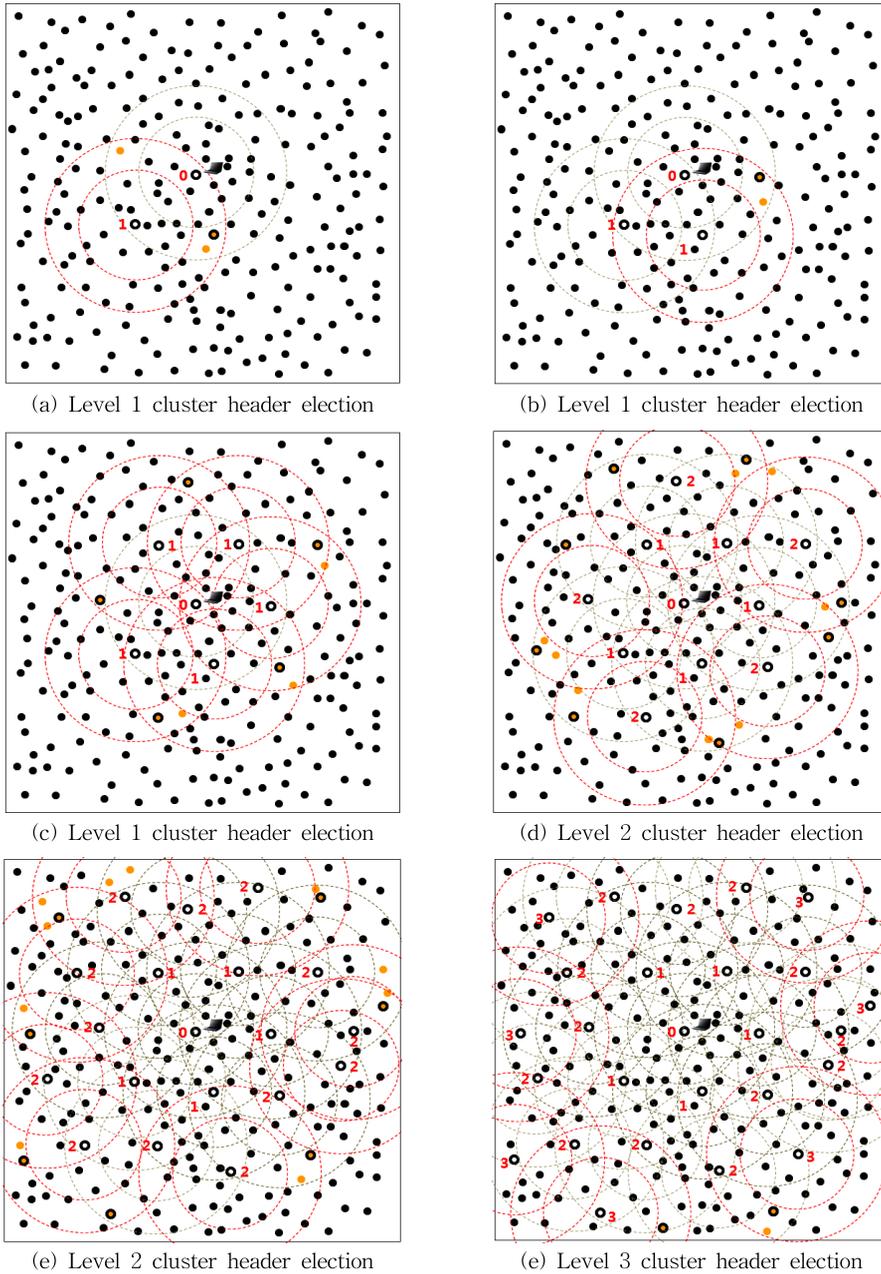


Fig. 8. Cluster Structure and Data Transmission Routing Process in SCBC.

송한 이전 레벨의 클러스터 헤더를 전송경로로 설정한다. 상위 레벨의 전송경로가 2개인 경우, 임의로 하나를 데이터 전송경로를 설정한다. 다음은 제안하는 SCBC 기법의 알고리즘을 보여준다.

Fig. 4는 SCBC 알고리즘으로 생성된 강한연결 균등분포 클러스터 구조와 싱크로 설정된 데이터 전송 경로를 보여준다.

3.2 싱크 경로설정 과정

싱크의 이동에 따라 데이터 전송 경로는 싱크가 위치한 클러스터 헤더를 목적으로 갱신되어진다. 싱크의 자유로운 이동성을 지원하기 위해서, 싱크는 주기적으로 Hello 메시지를 발송하고, 클러스터 헤더는 응답 메시지를 전송한다. 싱크는 응답신호의 세기를 검사하여 신호세기가 임계치 이하가 되면, 레벨 0 클러스터 헤더를 다시 선출한다. 가장 높은 신호세기의 응답 메시지를 전송하는 클러스터 헤더를 선택하여, ‘클러스터 헤더 선출’ 메시지를 전송한다.

경로 갱신 제어메시지로 인한 에너지 소모를 최소화하기 위해서, 이전 경로의 레벨 0 클러스터 헤더로부터 1홉 거리의 클러스터 헤더가 새로운 레벨 0 클러스터 헤더로 선출되면, 이전 레벨 0 클러스터 헤더로 싱크의 이동을 알리는 ‘싱크 원홉 이동’ 메시지를 전송한다. 이전 레벨 0 클러스터 헤더는 클러스터 헤더로 경로를 갱신하고, 수집한 데이터를 포워딩한다.

이전 경로의 레벨 0 클러스터 헤더로부터 2홉 거리 이상의 클러스터 헤더가 새로운 레벨 0 클러스터 헤더로 선출되면, 클러스터 헤더는 이웃 클러스터 헤

더에게 ‘경로 갱신’ 메시지를 전송한다. ‘경로 갱신’ 메시지는 자신의 클러스터 헤더 ID와 홉수를 포함한다. 이 메시지를 수신한 클러스터 헤더는 홉수에 기반하여 데이터 전송 경로를 수정한다. 현재 생성된 클러스터 구조에서 2홉 이상 거리를 이동할 때, 경로 갱신 과정이 진행되어, 경로 갱신에 소모되는 에너지 소모를 줄일 수 있다.

Fig. 9(a)는 싱크가 레벨 0 클러스터 헤더로부터 원홉 거리의 C16 클러스터 영역으로 이동한 경우를 보여준다. C15 클러스터 헤더는 원홉 이웃 클러스터 C16으로 데이터를 포워딩한다. Fig. 9(b)는 싱크가 레벨 0 클러스터 헤더로부터 2홉 거리의 C21 클러스터 영역으로 이동한 후, 갱신된 전송경로를 보여준다. 강한연결 구조에서 새로 갱신되는 데이터 경로의 홉수도 지역적 거리에 따라 비례하여 최소의 멀티홉 경로로 설정된다.

4. 실험 결과

제안한 방식의 강한연결 클러스터 SCBC 기법의 에너지 사용의 효율성을 검증하기 위해서 실험을 수행하였다. 비교 대상 프로토콜은 모바일 싱크의 위치를 기준으로 트리를 구성하는 MLRP 기법과 기존의 클러스터 기반 라우팅 경로 설정방법인 CMS를 사용하였다. C언어를 이용하여 150 m × 150 m의 영역에 200개의 노드를 임의로 배치한 실험하였다. 전송범위는 30 m, 신호세기임계치 거리범위 20 m, 제어 메시지 512 kbit, 데이터 메시지 2048 kbit를 사용하였다. 에너지 모델은 (1)을 이용하여 E_{elec} 비트당 송수

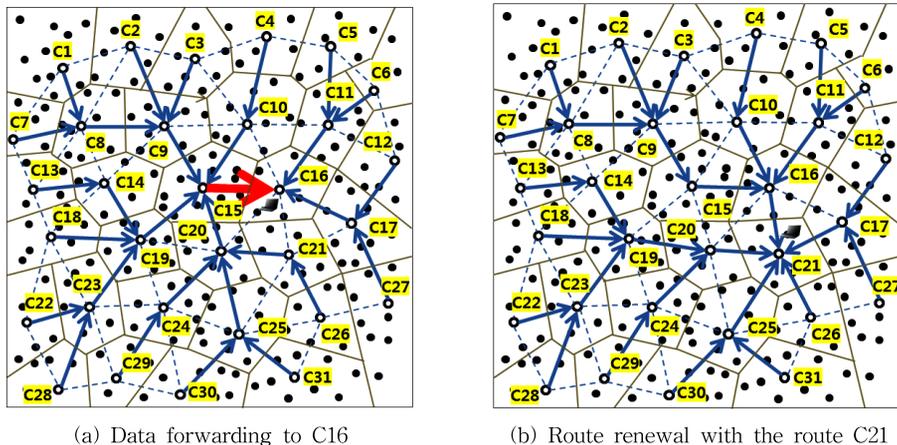


Fig. 9. Sink Movement and Routing.

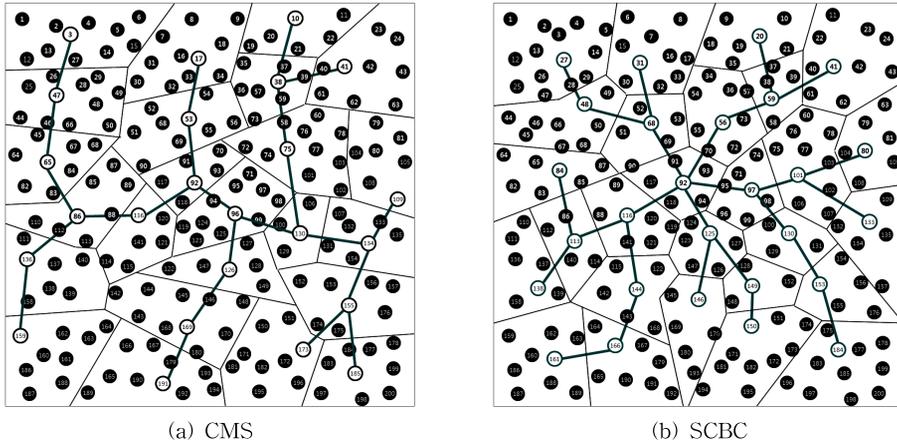


Fig. 10. The example of routing path in CMS and SCBC.

신 에너지는 50 nJ/bit, ϵ 증폭 에너지는 100 pJ/bit를 사용하였다[13].

$$E_{Tx}(k, d) = k * E_{elec} + k * \epsilon * d^2 \quad E_{Rx}(k, d) = k * E_{elec} \quad (1)$$

Fig. 10은 CMS 방식과 SCBC 방식으로 생성된 클러스터와 라우팅 경로를 나타낸다. CMS 방식에서 생성된 클러스터 경로의 최대 홉수는 6이고, 제안한 방식 SCBC의 최대 홉수는 4이다.

Fig. 11은 Fig. 10의 토폴로지에서 MLRP, CMS, 그리고 제안한 방식에서 싱크가 위치한 목적지까지의 라우팅 경로의 평균 홉수를 보여준다. MLRP는 모든 노드가 데이터 전송 및 전달을 위한 경로를 가지고, 이때의 평균 홉수는 4.12이다. CMS는 기존의 클러스터 기반 라우팅 경로설정 방식으로 평균 홉수는 4.44를 보여준다. SCBC는 제안한 강한연결 클러

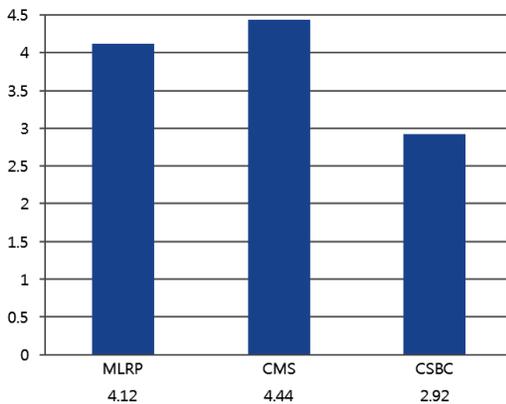


Fig. 11. Average number of hops.

스터 기법으로 평균 2.92의 홉수로써 MLRP, CMS 비해서 현저히 낮은 홉수를 가진다.

Fig. 12는 데이터 전송회수에 따른 에너지 사용량을 보여준다. 제안한 SCBC 방식은 전체의 MLRP 방식에 비해서 평균 48%의 에너지를 소모하고, CMS 방식에 비해서 평균 90%의 에너지를 소모한다. 제안한 방식이 기존의 클러스터 방식인 CMS보다 더 나은 에너지 효율을 보이는 것은 데이터 전송경로의 홉수의 감소와 관련하여 데이터 크기의 감소에 대한 에너지 사용량의 효과로 분석된다.

Fig. 13은 싱크 이동에 따른 경로 설정에서 제어 메시지 전송시에 소모되는 에너지 사용량의 누적값을 보여준다. 제안한 SCBC 방식은 전체의 MLRP 방식에 비해서 평균 31%의 에너지를 소모하고, CMS 방식에 비해서 평균 39%의 에너지를 소모한다. 제안

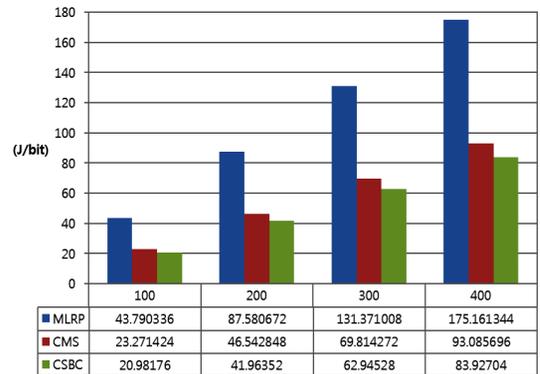


Fig. 12. Total amount of energy usage of data transmission.

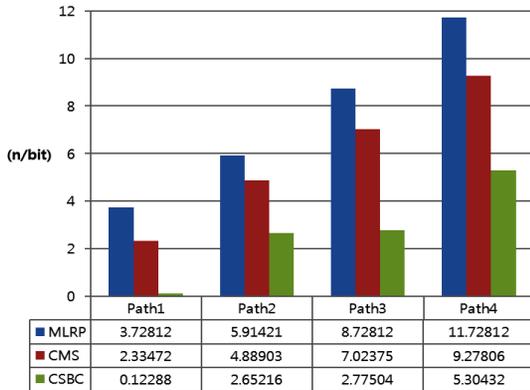


Fig. 13. Cumulative amount of energy usage of control message transmission.

한 방식은 MLRP, CMS 방식에 비교하여, 월등히 높은 에너지 효율을 보인다.

SCBC방식에서 Path1은 싱크가 이전 위치로부터 한 개의 클러스터 영역을 이동하여 갱신한 경로로써, 싱크는 이동한 클러스터에서 레벨 0 클러스터 헤더를 선출하고, 이때 선출된 레벨 0 클러스터 헤더는 이전 클러스터 헤더에게 '싱크 원홉 이동' 메시지를 전송하여 싱크의 위치를 알리고, 경로를 갱신한다. Path3의 경로 역시, Path2의 경로에서 싱크가 원홉 이동하여 생성된 경로로써 Path1과 같은 과정으로 경로가 갱신된다. 이것은 싱크의 이동에 대해서, 경로 생성 제어 메시지 전송량을 최소화하여, 센서 노드가 효율적으로 에너지를 소모하게 한다.

5. 결 론

본 논문은 센서 네트워크에서 센서 노드의 효율적인 에너지 사용을 위해서, 강한연결 클러스터 기법을 제안했다. 제안한 방식은 관련 연구인 CMS 클러스터 기법에 비해서, 지역적 거리에 비례한 최소 홉의 멀티홉 데이터 전송경로를 지원하여, 데이터 전송에 소모되는 노드의 에너지 소모를 최소화한다. 제안한 방식은 싱크 노드가 이동하여 새로운 경로를 설정하는 상황에서 에너지 효율적인 경로를 지원하고, 이것은 클러스터 헤더의 에너지 소모의 부하를 줄임으로 클러스터 헤더의 에너지를 효율적으로 사용하도록 지원하고, 전체 센서 네트워크의 생명 주기를 증가시킬 수 있다. 향후 연구로써 실제의 모바일 센서 네트워크 환경에 제안한 기법을 적용하기 위해서, 전체

프로토콜의 관점에서 제안한 기법의 효율성을 검증할 계획이다.

REFERENCE

- [1] Y. Yang, M.I. Fonoage, and M. Cardei, "Improving Network Lifetime with Mobile Wireless Sensor Networks," *Computer Communications*, Vol. 33, Issue 4, pp. 409-419, 2010.
- [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] C. Konstantopoulos, G. Pantziou, D. Gavalas, A. Mpitziopoulos, and B. Mamalis, "A Rendezvous-based Approach Enabling Energy-efficient Sensory Data Collection with Mobile Sinks," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol. 23, Issue 5, pp. 809-817, 2012.
- [7] 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.
- [8] L. Shi, B. Zhang, Z. Yao, K. Huang, and J. Ma,

- “An Efficient Multi-stage Data Routing Protocol for Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks,” *IEEE Global Telecommunications*, pp. 5-9, 2011.
- [9] K. Tian, B. Zhang, K. Huang, and J. Ma, “Data Gathering Protocols for Wireless Sensor Networks with Mobile Sinks,” *IEEE Global Telecommunications*, pp. 6-10, 2010.
- [10] H. Luo, F. Ye, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, “A Two-tier Data Dissemination Model for Large Scale Wireless Sensor Network,” *Proceeding of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 148-159, 2002.
- [11] K. Kweon, H. Ghim, J. Hong, and H. Yoon, “Grid-based Energy-efficient Routing from Multiple Sources to Multiple Mobile Sinks in Wireless Sensor Networks,” *Proceeding of International Symposium on Wireless Pervasive Computing*, pp. 11-13, 2009.
- [12] M. Wu, “An Efficient Routing Protocol for Mobile Sinks in Sensor Networks,” *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 20, No. 4, pp. 640-648, 2017.
- [13] M. Wu, H. Park, and C. 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