

논문 2009-46CI-5-8

클러스터링을 통한 모바일 싱크 데이터 수집

(Mobile Sink Data Gathering through Clustering)

박 장 수*, 안 병 철**

(Jangsu Park and Byoungchul Ahn)

요 약

무선 센서 네트워크에서 고정된 싱크 노드가 데이터를 수집하므로 싱크 노드와 주변 노드의 에너지는 다른 노드에 비해 상당히 많이 소모된다. 보다 큰 센서 네트워크에서 에너지 불균형은 급격하게 전체 센서 네트워크의 동작을 멈추게 한다. 이 논문은 대규모 무선 센서 네트워크의 수명을 늘이기 위해 모바일 싱크를 이용한 효율적인 데이터 수집 방법을 제안한다. 클러스터링을 통해 네트워크를 나누고 모바일 싱크가 각 클러스터를 방문하여 데이터를 수집한다. 모바일 싱크와 클러스터 헤드 사이의 메시지 전달을 통해 에너지 소비 효율은 높이며 모바일 싱크의 단점인 데이터 수집 시간을 최소화할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 또한 에너지 소비 및 데이터 수집 시간 측면에서 알고리즘을 분석하고 시뮬레이션을 통해 분석의 타당성을 증명한다.

Abstract

A sink node and its neighbor nodes spend more energy than other nodes since a stationary sink node collects data from wireless sensor networks(WSNs). For larger WSNs, the unbalanced energy of nodes causes the operation of WSNs to stop rapidly. This paper proposes a data gathering method by adapting the mobile sink to prolong the life time of large WSNs. After partitioning a network into several clusters, a mobile sink visits each cluster and collects data from it. An efficient algorithm is proposed to improve the energy efficiency by delivering the message from the mobile sink to the cluster head as well as to reduce the data gathering delay, which is the disadvantage of the mobile sink. Also, The algorithm is analyzed for the energy consumption and the data gathering delay. The validity of the analysis result is confirmed by the simulation.

Keywords : 모바일 싱크(mobile sink), 방문 알림 메시지(visit notification message), 클러스터링(clustering)

I. 서 론

무선 센서 네트워크에서 에너지는 가장 중요한 자원이다. 센서 노드의 에너지 소비는 대부분 데이터 패킷 송수신에 의한 것으로 패킷이 싱크 노드까지 중계되는 과정에서 각 노드는 많은 에너지를 소비한다. 특히 싱크 노드에 가까운 노드는 자신의 데이터를 전송해야 할

뿐만 아니라 싱크 노드로 전송하는 다른 노드의 데이터를 중계하여야 하므로 많은 에너지를 소비한다. 네트워크를 클러스터로 나누고 클러스터의 데이터를 수집한 헤드 노드가 직접 싱크 노드로 데이터를 보내더라도 두 노드 사이의 거리가 멀면 헤드 노드의 전송 전력은 그만큼 커야 한다. 이러한 경우들은 결국 네트워크 수명을 단축시킨다.

최근에는 싱크 노드가 한 장소에 고정되어 있지 않고 네트워크를 순회하며 데이터를 수집하는 모바일 싱크에 대한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구는 광범위한 지역을 이동하며 감시해야 하는 환경에 적용할 수 있다. 예를 들어, 교통 상황 모니터링, 야생 동물 생태 연구, 오염 지역 통제 등의 응용 프로그램에서는 상황에

* 정희원, 영남대학교 컴퓨터공학과
(Dept. of Computer Engineering, Yeungnam Univ.)

** 평생회원, 영남대학교 전자정보공학과
(Dept. of Electronic and Information Engineering, Yeungnam Univ.)

※ 이 연구는 2009년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임

접수일자: 2009년5월9일, 수정완료일: 2009년9월4일

따라 데이터 수집 지점이 고정되지 않고 변할 수 있다.

모바일 싱크의 유리한 점은 원하는 데이터를 보유한 센서의 근처에 가서 센서로부터 직접 또는 짧은 홉을 통해 데이터를 받으므로 노드들의 에너지 소비를 크게 줄일 수 있다. 또한 모바일 싱크는 센서 노드의 밀도가 낮거나 네트워크의 연결이 끊어진 상태에서도 데이터 수집이 가능하다.

본 논문에서는 네트워크 수명을 늘이기 위해 모바일 싱크를 이용한 효율적인 데이터 수집 알고리즘을 제안한다. 클러스터링을 통해 네트워크를 나누고 모바일 싱크가 각 클러스터를 방문하여 데이터를 수집한다. 각 클러스터에 모바일 싱크가 순회한다는 사실을 미리 알려주고 헤드 노드가 최신의 데이터를 미리 수집해 둔다면 싱크는 헤드 노드 주변에서 빠르게 데이터를 가져올 수 있어서 전체 이동 시간을 줄일 수 있다.

클러스터링을 위하여 LEACH의 확률 기반 클러스터링 방법을 이용하여 성능을 비교한다^[1]. LEACH는 노드가 전송해야 하는 데이터의 크기는 고려하지 않고 자신의 타임 슬롯이 되면 항상 전송을 시작한다고 가정한다. 그러나 싱크가 그 데이터를 수집하지 않으면 에너지 낭비만 초래한다. 본 논문은 싱크의 요청이 있을 때만 데이터를 전송한다고 가정함으로써 고정 싱크보다 데이터 수집 시간이 상대적으로 느린 모바일 싱크를 위한 응용 프로그램에 보다 현실적인 환경을 제공한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 모바일 싱크를 사용한 센서 네트워크의 연구동향을 살펴보고, III장에서는 본 논문에서 사용된 센서 네트워크의 특징과 에너지 모델에 대해 설명한다. IV장에서는 데이터 수집 시간을 단축시키기 위한 방문 알림 메시지에 대해 기술한다. V장에서는 방문 알림 메시지를 사용했을 경우 향상되는 에너지 효율 및 데이터 수집 시간에 대해 분석한다. VI장에서는 시뮬레이션을 통한 성능평가와 분석을 하며, VII장에서는 결론과 향후 계획을 기술한다.

II. 관련 연구

고정 싱크를 위해 제안된 LEACH는 센서 네트워크에서 주기적으로 데이터를 수집해야 하는 응용 프로그램을 위한 클러스터링 프로토콜이다. LEACH는 노드 자신이 정한 확률에 따라 스스로 클러스터의 헤드 노드가 된다. LEACH는 노드들의 균형있는 에너지 소비 전략을 제안하였다. 그러나 고정 싱크까지 데이터를 직접

전송시 거리에 따른 헤드의 에너지 소비가 높으며 라우팅을 통해 보내더라도 고정 싱크 주변의 노드들의 에너지 소비 불균형은 불가피하다.

최근에는 야생동물의 위치 추적 같은 이동성이 요구되는 응용 프로그램에 대한 논의가 대두되고 있다. MULEs는 센서 주변으로 이동한 후 데이터를 수집, 버퍼에 저장한 후 유선 액세스 포인트에 전달하였다^[2]. 이 방법은 모든 노드들을 방문하여야 하므로 데이터 수집하는데 시간이 많이 소요된다. Kansal은 하나의 모바일 싱크가 고정된 경로로만 움직이도록 설계하였는데, 경로 주변 노드들에서 에너지 소비가 많은 단점을 가지고 있다^[3]. Sencar는 싱크의 궤적을 최적화하기 위한 알고리즘이다^[4]. Sencar는 노드들의 에너지 소비가 균등한 궤적을 만들기 위해 초기 에너지 정보를 이용하므로 패킷 손실이 발생하는 경우에 적절하게 대처하지 못한다. Zhao는 데이터 업로딩 시간을 줄이기 위해 모바일 싱크에 두개의 안테나를 장착하였다^[5].

이들 연구와는 달리 본 논문은 클러스터링에 모바일 싱크를 적용하여 에너지 효율과 데이터 수집 시간 측면에서 향상된 데이터 수집 알고리즘을 제안한다.

III. 네트워크 모델

센서 네트워크는 사각형 공간에 분산된 N 개의 센서들로 이루어지며 다음과 같은 것들을 가정한다.

- 싱크 노드를 제외한 모든 노드는 동일 기종으로 같은 센싱, 프로세싱, 통신 능력을 가진다.
- 노드는 통신 거리에 따라 전송 전력을 조절할 수 있다.
- 모든 노드는 필요시 이동 싱크와 직접 통신할 수 있다.
- 노드는 위치가 고정되어 있고 ID를 할당받는다.
- 네트워크는 클러스터들로 나누어진다. 클러스터는 헤드 노드와 그 외 멤버 노드들로 이루어진다.
- 싱크가 클러스터로 이동하여 데이터를 수집한다.
- 센서 노드는 주기적으로 주변을 감시하며 데이터를 발생시킨다.
- 멤버 노드는 데이터 전송 요청이 있을 때만 헤드 노드로 데이터를 전송한다.
- 멤버 노드와 헤드 노드 사이에는 1홉 통신을 하며, 전송 동기화를 위해 TDMA 스케줄을 사용한다^[1].

d 미터 거리에 있는 수신 노드에 1 비트 메시지를 전송하는데 소비되는 에너지 E_{Tx} 는 식 (1)에 의해 주어지며, 1 비트를 수신하는데 소비되는 에너지 E_{Rx} 는 식 (2)에 의해 주어진다^[6].

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

$$E_{Rx}(l, d) = lE_{elec} \quad (2)$$

전자 에너지 E_{elec} 는 디지털 코딩, 변복조, 필터링, 또는 신호 확산에 따라 값이 달라진다. e_{fs} 및 e_{mp} 는 수신자까지의 전송 거리에 따른 증폭 에너지를 나타낸다. 전송 거리가 임계값 d_0 보다 작으면 e_{fs} , 크면 e_{mp} 를 사용한다. 본 논문에서는 클러스터내의 노드사이의 통신에는 e_{fs} 를, 시뮬레이션을 위한 헤드 노드와 고정 싱크사이의 통신에는 e_{mp} 를 적용한다.

IV. 싱크의 주행 시간 단축

1. 모바일 싱크의 데이터 수집 시간

멤버 노드가 직접 헤드 노드로 데이터를 전송한다면 모든 멤버 노드들의 데이터를 한번 수집하기 위해 소요되는 시간은 멤버 노드의 수에 비례한다. 노드 수가 N 개이고 클러스터의 수가 k 이면 한 클러스터에 속한 평균 멤버 노드의 수는 $(N-k)/k$ 이다. 그리고 헤드 노드에서 고정 싱크로 데이터 전송시 클러스터 경계선에 위치한 노드들 사이의 신호 간섭을 방지하기 위해 클러스터마다 확산 코드(spreading code)를 지정한다^[7]. 따라서 노드당 발생하는 데이터 길이가 1 바이트, 노드의 데이터 전송률이 B bps, 확산 계수를 S 라고 할때 한 클러스터의 평균 데이터 수집 시간 T_C 는 $\frac{l \times 8 \times S}{B} \times \frac{N-k}{k}$ 이다. 여기서 데이터가 속한 노드를 표시하는 데이터 헤더의 크기는 데이터 크기에 비해 매우 작으므로 무시한다.

싱크가 클러스터에 도착하여 클러스터 노드들에게 데이터 요청을 할때 노드는 헤드를 거치지 않고 직접 싱크로 데이터를 보내는 것이 효율적이다. 따라서 각 헤드 노드 위치에 모바일 싱크가 정지하여 데이터를 수집하는데 걸리는 전체 시간 T_{C-M} 은 식 (3)과 같이 된다.

$$T_{C-M} = \frac{8l \times S \times N}{B} \quad (3)$$

따라서 싱크가 모든 헤드를 방문하고 다시 원래 위치로 돌아오는데 걸리는 시간을 T_D 라고 한다면 싱크가 데이터를 수집하는데 소요되는 전체 시간 T_Δ 는 식 (4)와 같다.

$$T_\Delta = T_{C-M} + T_D \quad (4)$$

2. 클러스터 정보 수집

센서 네트워크의 노드들 중에서 특히 에너지 소모가 많은 두가지 경우가 있다. 하나는 싱크 노드 주변 노드들로서 모바일 싱크에 의해 이 문제는 해결할 수 있다. 다른 하나는 네트워크를 센서들의 소집합인 클러스터로 나누었을 때 헤드 노드이다. 헤드 노드는 멤버 노드들의 데이터를 수집하여 싱크 노드로 전달하여야 하므로 멤버 노드들에 비해 에너지가 많이 소비된다. 따라서 같은 기종 센서 네트워크에서는 노드들이 돌아가면서 헤드 노드 역할을 한다. LEACH는 네트워크를 클러스터들로 나눌때 잔여 에너지가 많은 노드가 헤드 노드가 될 확률이 높도록 함으로써 전체 노드들의 에너지가 균일하게 소비되도록 한다. 본 논문은 헤드 노드에 의한 에너지 소비 불균형이 발생하지 않도록 LEACH와 같은 방식의 클러스터링을 사용한다.

클러스터링 후에 모바일 싱크는 각 클러스터의 헤드 노드를 방문하여 데이터를 수집한다. 따라서 싱크는 클러스터를 방문하기 전에 각 클러스터의 헤드 노드를 알고 있어야 한다. Sencar는 네트워크 설치 초기에 모든 노드들의 잔여 에너지를 확인하여 이동 경로를 정한다. 그러나 확률에 의해 헤드를 정한다면 싱크가 노드들의 에너지를 알고 있더라도 다음 클러스터링에서 클러스터가 어떻게 구성될지 결정하기 어렵다. 따라서 싱크는 출발하기 전에 현재 네트워크의 헤드 노드들에 대한 정보를 수집한다. 싱크의 데이터 수집 시간이 주기적이지 않다면 헤드 노드의 ID를 요청하는 메시지를 모든 노드에 보내고 헤드 노드들을 확인 후 방문할 첫 번째 헤드 노드에 방문 알림 메시지를 보낸다. 이제 싱크는 헤드 노드들의 위치에 따른 주행경로를 계산한 후 출발한다.

3. 방문 알림 메시지

모바일 싱크가 데이터를 수집하는데 걸리는 전체 시

간은 경로 이동 시간과 데이터 업로딩 시간에 의해 결정된다. 최소 경로 이동 시간은 TSP(Traveling Salesman Problem) 문제에 해당하며 경로 길이를 줄이는 것이 중요한 과제이다. 데이터 수집 시간에 민감한 응용 프로그램의 경우라면 경로 길이를 줄이기 위해 클러스터의 수를 줄일 수 있다. 이 경우 헤드 노드로부터 먼 거리의 멤버 노드가 많아져서 노드의 평균 에너지 소비는 늘어난다.

데이터 업로딩 시간은 멤버 노드들에서 헤드 노드로 데이터가 이동하는데 걸리는 지연 시간에 의해 크게 좌우된다. 헤드 노드가 멤버 노드들이 보유한 데이터를 주기적으로 모을수는 있으나 노드의 모든 데이터를 싱크 노드가 수집하지 않는다면 불필요한 에너지 소비가 발생한다. 이 논문에서는 데이터 업로딩 시간을 줄이기 위해 모바일 싱크가 다음 클러스터로 이동하기 전에 방문을 미리 통보함으로써 클러스터 헤드 및 헤드 주변 노드들이 클러스터내 전체 노드들의 데이터를 수집해서 대기한다. 이렇게 함으로써 클러스터 도착 후 헤드 노드가 데이터 수집을 마칠때까지 싱크가 대기하지 않아도 된다.

방문 알림 메시지를 다음 방문 클러스터에 전달하기 위해 모바일 싱크는 다음 클러스터 헤드와 직접 통신한다. 메시지에는 direct diffusion의 interest 패킷과 같은 특정 명령을 실어 보낼 수 있다^[8]. 예를 들어 최근 데이터만을 요청하거나 감시지역의 중요도에 따라 클러스터마다 요청 데이터의 양을 다르게 할 수 있다.

V. 모델 분석

1. 소비 에너지

고정 싱크를 사용하는 네트워크에서 소비되는 에너지는 멤버 노드가 소비하는 에너지와 헤드 노드가 소비하는 에너지로 나눌 수 있다. 다시 헤드 노드의 경우 멤버 노드들로부터 데이터를 받기 위해 소비하는 에너지와 고정 싱크로 수집한 에너지를 전송할 때 소비되는 에너지로 나눌 수 있다. d_{toCH} 가 멤버 노드에서 클러스터 헤드까지의 거리일 때 하나의 데이터를 전송하기 위해 각 멤버 노드가 소비하는 에너지 E_{MN} 는 식 (5)과 같다. 여기서 데이터 길이가 1이면 $L = S \times 1$ 이다.

$$E_{MN} = LE_{elec} + Le_{fs}d_{toCH}^2 \quad (5)$$

d_{toBS} 가 클러스터 헤드에서 고정 싱크까지의 거리라면 매 클러스터링 주기마다 각 헤드 노드가 소비하는 에너지 E_{CH-S} 는 식 (6)과 같다. N 은 노드수, k 는 클러스터 수이다.

$$\begin{aligned} E_{CH-S} &= LE_{elec} \left(\frac{N}{k} - 1 \right) + L \frac{N}{k} (E_{elec} + e_{mp}d_{toBS}^4) \\ &= L \frac{N}{k} (2E_{elec} + e_{mp}d_{toBS}^4) - LE_{elec} \quad (6) \end{aligned}$$

헤드 노드와 모바일 싱크 사이의 거리가 d_{toMS} 이면, 클러스터 헤드가 소비하는 에너지 E_{CH-M} 은 식 (7)과 같다.

$$E_{CH-M} = L \frac{N}{k} (2E_{elec} + e_{fs}d_{toMS}^2) - LE_{elec} \quad (7)$$

d_{toBS} 및 d_{toMS} 를 제외한 나머지 값들은 센서 노드 및 네트워크 환경에 의해 주어진다. 따라서 모바일 싱크를 사용할 때와 고정된 싱크를 사용할 때의 에너지 소비를 비교하기 위해서는 기대값을 계산하여야 한다.

한편의 길이가 M 인 정방향 네트워크에서 고정 싱크가 $(M/2, M)$ 좌표에 있다면 고정 싱크로부터 헤드 노드가 있을 수 있는 모든 d_{toBS} 지점까지의 거리 제곱의 기대치 $E[d_{toBS}^2]$ 는 식 (8)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} E[d_{toBS}^2] &= 2 \int_0^M \int_0^{M/2} (x^2 + y^2) / M^2 dx dy \\ &= \frac{5}{12} M^2 \quad (8) \end{aligned}$$

따라서 $d_{toMS}=1m$, $N=100$, $k=5$, $E[d_{toCH}]=M^2/2\pi k$, $M=100m$, $E_{elec}=50nJ/bit$, $e_{mp}=0.0013pJ/bit/m^4$, $e_{fs}=10pJ/bit/m^2$ 이면^[1] 고정 싱크에 대한 모바일 싱크를 사용했을 때의 에너지 비는 식 (5), (6), (7)에 의해 식 (9)과 같이 구할 수 있다. 모바일 싱크를 사용하는 것이 고정된 싱크를 사용할 때보다 데이터 크기와는 상관없이 13% 가량 에너지 효율이 좋아진다.

$$\frac{kE_{CH-M} + (N-k)E_{MN}}{kE_{CH-S} + (N-k)E_{MN}} \approx 0.868 \quad (9)$$

2. 주행 시간

모바일 싱크가 클러스터를 방문해서 클러스터 헤드

에 데이터를 요청하여 받는데 걸리는 시간은 노드 수에 비례하므로 $1 \times 8 \times N/B$ 가 된다. 여기서 싱크가 모든 헤드를 방문하고 원래 위치로 돌아오는 거리를 D 미터, 싱크의 이동 속도를 v (m/s) 라고 가정한다. 따라서 방문 알림 메시지를 사용할 경우 모바일 싱크가 데이터를 수집하는데 걸리는 전체 수집 시간 T_{VM} 은 식 (4)로부터 다음과 같다. 이때 T_{HS} 는 헤드 노드가 모든 데이터를 싱크에게 전달하는데 걸리는 시간이다.

$$\begin{aligned} T_{VM} &= T_{\Delta} - T_{C-M} + T_{HS} = T_{HS} + T_D \\ &= \frac{8l \times N}{B} + \frac{D}{v} \end{aligned} \quad (10)$$

방문 알림 메시지를 사용하여 데이터 수집 시간을 a % 줄이려면 요청 데이터 크기가 $T_{VM}/T_{\Delta} = 1 - a/100$ 의 조건을 만족시켜야 한다. 예를 들어 수집시간이 절반이 되는 $a = 50$ 이면 $T_{C-M} = 2T_{HS} + T_D$ 가 되고, 식 (11)과 같이 데이터 크기를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{8l \times S \times N}{B} &= \frac{2 \times 8l \times N}{B} + \frac{D}{v} \\ l_{(\alpha=50)} &= \frac{D \times B}{8vN(S-2)} \end{aligned} \quad (11)$$

싱크의 최소 주행 거리를 구하는 문제는 NP-complete으로 알려진 TSP로서 현재까지 많은 휴리스틱 알고리즘이 개발되었다. D.S. Johnson은 1×1 공간내 노드 수가 k 개일 때 최적 경로의 하계(lower bound)가 $0.77\sqrt{k}$ 인 것을 실험을 통해 확인하였다^[9]. 따라서 정방형 네트워크 영역의 한 변의 길이가 M 일 때 고정 싱크의 위치를 포함한 경로 길이 근사값 $D \approx 0.77\sqrt{k+1} \times M$ 이다.

평균 클러스터 수 $k=5$, $N=100$, $M=100m$, $B=1Mbps$, $v=1$ m/s, $S=8$ 이면 방문 알림 메시지를 통해 시간 효율이 두 배가 되는 데이터 크기의 기댓값 $L=39KB$ 이다. 만약에 네트워크의 범위가 매우 넓다면 멤버 노드가 직접 헤드 노드로 데이터를 보내는 것은 에너지 측면에서 비효율적이다. 따라서 중간 노드를 거쳐야 하는데 이때 라우팅에 의한 지연으로 T_C 는 증가하며 방문 알림 메시지에 의한 시간 효율은 이보다 높아진다.

노드의 데이터가 음성이나 영상을 위한 것이라면 각 노드로부터 대량의 데이터가 발생한다. 따라서 위 조건에서 헤드 노드가 멤버 노드들의 데이터를 미리 저장해 두기 위해서는 네트워크내의 클러스터 수가 한 개인 최

악의 경우 3.9MB의 버퍼 크기가 필요하다.

버퍼가 모든 데이터를 저장할 수 없다면 두 가지 방법을 고려할 수 있다. 헤드를 포함한 여러 노드에 나누어 데이터를 저장하고 그들을 모두 방문하는 것은 클러스터내 새로운 경로가 만들어져서 주행시간이 오히려 길어진다. 다른 방법은 헤드 노드가 버퍼의 크기만큼만 미리 데이터를 수집하고 나머지 데이터는 싱크가 도착 후 싱크로 전송하는 것이다. 이것을 위하여 헤드 노드는 방문 메시지를 받았을 때 미리 데이터를 수집할 노드들을 지정해야 한다. 헤드 노드가 버퍼가 허용하는 최대한 많은 데이터를 미리 수집한다면 한 멤버 노드의 데이터는 일부만 헤드 노드에 저장될 수 있다. 이때 싱크는 이들 두 노드로 부터 데이터를 받은 후 합친다. 노드 버퍼의 크기가 m 일 때 방문 알림 메시지를 사용한 주행시간은 식 (12)와 같다. 단, m 최대 크기는 조건 $T_{VM-m} \geq D/v$ 을 만족시켜야 한다.

$$\begin{aligned} T_{VM-m} &= \frac{8l}{B} \left\{ k \frac{m}{l} + S(N - k \frac{m}{l}) \right\} + \frac{D}{v} \\ \left(\frac{lN}{k(1-1/S)} \geq m \right) \end{aligned} \quad (12)$$

VI. 실험

실험을 위해 100개의 센서 노드가 $100m \times 100m$ 크기의 영역에 분산되어 설치된다. 고정 싱크 위치 또는 모바일 싱크의 출발 위치는 $(x=50, y=100)$ 이다. 시물레이션을 위해 네트워크 시뮬레이터 ns-2를 사용하였다. 싱크의 주행 시간을 고려하여 클러스터링 주기는 12분이며, 매 주기마다 사용자의 데이터 요청이 있다고 가정한다. 노드들의 위치 정보는 네트워크가 설치될 때 싱크에 의해 획득된다고 가정한다. 네트워크의 수명은 살아있는 노드 수가 4% 이하가 되는 순간이며 그때 시물레이션은 종료한다. 나머지 시물레이션을 위한 인자

표 1. 시물레이션 인자 값들
Table 1. Simulation factors.

평균 클러스터 수	5
모바일 싱크 속도	1 m/s
노드 초기 에너지	2 Joule
MAC 프로토콜	CSMA/CA
노드 데이터 전송 속도	1Mbps

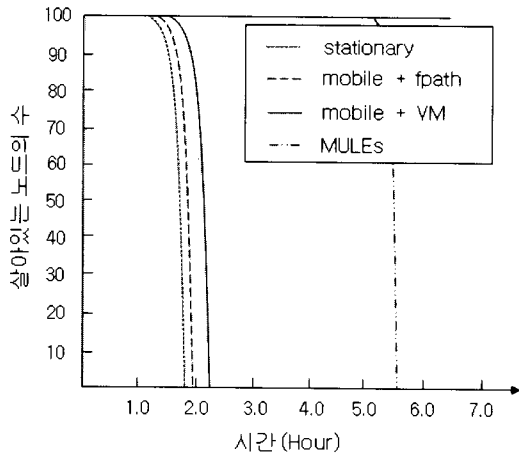


그림 1. 살아있는 노드의 수
Fig. 1. The number of nodes alive.

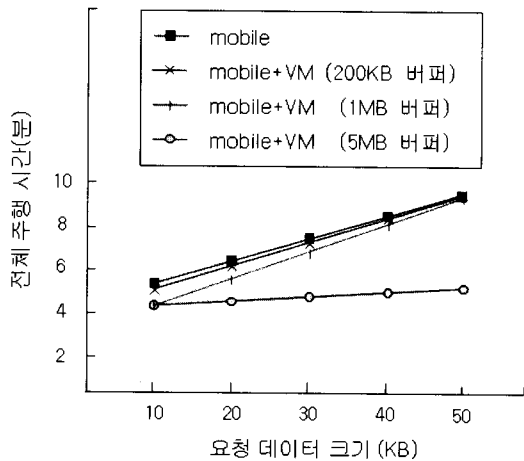


그림 2. 전체 주행 시간
Fig. 2. Total traveling time.

들은 표 1에 제시하였다.

그림 1은 싱크의 요청 데이터 크기가 20KB일때 시뮬레이션 동안 살아있는 노드의 수를 나타낸다. 그림에서 stationary는 고정 싱크를, mobile+VM은 방문 메시지를 사용하는 모바일 싱크의 경우를 나타낸다. 또한 mobile+fpath는 Kansal의 모바일 라우터(mobile router) 처럼 싱크가 네트워크 중심을 가로지르는 고정된 경로로만 왕복하는 경우를 나타낸다^[3]. 하지만 모바일 라우터와는 달리 모든 노드로부터 1 홉으로 데이터를 받는다. 제안 모델이 모든 노드를 방문하는 MULEs 보다는 네트워크 수명이 짧으나 고정 싱크의 경우 보다는 약 15%, 고정 경로를 사용하는 경우 보다는 약 9% 길어지는 것을 볼수 있다. MULEs 방식은 노드의 에너지 소비 측면에서는 유리하나 헤드 노드만 방문하는 것에 비해 적어도 수 배의 데이터 수집 시간이 소요된다.

그림 2는 요청 데이터의 크기에 따른 전체 주행 시간을 보여준다. 그림에서 mobile은 클러스터링 후 방문 알림 메시지를 사용하지 않고 헤드 노드들을 방문하는 경우이다. 주행 시간은 데이터의 크기에 비례하여 증가한다. 노드 버퍼가 충분한 환경에서 방문 알림 메시지를 사용할 경우 주행 시간 증가분은 방문 알림 메시지를 사용하지 않는 경우의 증가분에 비해 훨씬 적다. 그러나 노드 버퍼가 200KB인 경우 요청 데이터 크기가 작을 때는 방문 알림 메시지의 효과가 있으나 데이터 크기가 40KB를 초과하면 효과는 없어진다.

VII. 결 론

모바일 싱크를 이용한 효과적인 데이터 수집 방법을 제안하였다. 클러스터링 이후 싱크는 다음에 방문할 클러스터에 미리 방문 시간을 알리기 위해 방문 알림 메시지를 사용한다. 이 방법은 데이터 업로딩 시간을 줄이며 결과적으로 데이터 수집 시간을 개선시킨다. 이것을 위해 LEACH를 수정한 클러스터링 알고리즘을 사용하였다. 방문 알림 메시지가 에너지 소비 및 데이터 수집 시간에 미치는 영향을 분석하였다. 이 분석을 통해 요청 데이터 크기와 방문 알림 메시지의 효과 사이의 상관관계를 확인하였다. 실험을 통해 고정된 싱크에 비해 모바일 싱크의 네트워크 수명이 15%, 고정 경로 보다는 9% 가량 늘어나는 것을 보았다. 또한 같은 모바일 싱크이더라도 방문 알림을 하였을 때 전체 주행 시간은 요청하는 데이터의 크기가 클수록 효과적이었다. 이러한 결과들은 분석의 타당성을 뒷받침한다.

대규모 네트워크에서 멤버 노드에서 헤드 노드로 데이터를 보낼 때 중간 노드를 거치는 것이 보다 현실적이다. 따라서 향후 클러스터내에 라우팅이 존재하는 경우 에너지 효율 및 데이터 수집 시간에 대한 연구를 이어갈 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, Hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks", IEEE Transactions on Wireless Communications, VOL. 1, NO. 4, OCTOBER 2002.
[2] R. C. Shah, S. Roy, S. Jain, and W. Brunette,

“Data mules: Modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks”, In IEEE Workshop on Sensor Network Protocols and Applications (SNPA), 2003.

[3] A. Kansal, A. Somasundara, D. Jea, M. Srivastava, and D. Estrin, “Intelligent uid infrastructure for embedded networks”, In 2nd ACM/USENIX International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys04), 2004.

[4] Ming Ma and Yuanyuan Yang, “Sencar: An energy-efficient data gathering mechanism for large-scale multihop sensor networks”, IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 18(10):1476-1488, October 2007.

[5] Mino Zhao, Ming Ma and Yuanyuan Yang, “Mobile Data Gathering with Space-Division Multiple Access in Wireless Sensor Network”, In 27th IEEE INFOCOM, Phoenix, USA, 2008.

[6] T. Rappaport, Wireless Communications: Principles & Practice. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.

[7] M. Ettus, “System capacity, latency, and power consumption in multihop-routed SS-CDMA wireless networks”, in Proc. Radio and Wireless Conf. (RAWCON), Colorado Springs, CO, pp. 55 - 58, August 1998.

[8] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, and D. Estrin, “Directed diusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks”, In 6th ACM/IEEE Annual International Conf. on Mobile Computing (MOBICOM 2000), pp. 56-67, 2000.

[9] D.S. Johnson, L.A. McGeoch, E.E. Rothberg, “Asymptotic Experimental Analysis for the Held-Karp Traveling Salesman Bound”, Proceedings of the Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, pp. 341-350, 1996.

저 자 소 개



박 장 수(정회원)
 1992년 영남대학교
 물리학과 학사
 2005년 아주대학교
 정보통신대학원 석사
 2006년~현재 영남대학교
 컴퓨터공학과 박사과정

<주관심분야 : 정보보호, 실시간 시스템, 센서 네트워크>



안 병 철(평생회원)-교신저자
 1976년 영남대학교
 전자공학과 학사
 1986년 오레곤주립대
 전기 및 컴퓨터공학 석사
 1989년 오레곤주립대
 전기 및 컴퓨터공학 박사

1976년~1984년 국방과학연구소연구원
 1989년~1992년 삼성전자 수석연구원
 1992년~현재 영남대학교 전자정보공학부 교수
 <주관심분야 : 임베디드시스템, 실시간운영체제, 멀티미디어처리>