대형 센서네트워크에서 멀티홉 전송을 이용한 데이터 수집 프로토콜

(A Data Gathering Protocol for Multihop Transmission for Large Sensor Networks)

박 장 수 † 안 병 철 ††
(Jangsu Park) (Byoungchul Ahn)

요 약 이 논문은 대규모 무선 센서 네트워크의 전체 운영 시간을 늘이기 위해 모바일 싱크를 이용한 효율적인 데이터 수집 방법을 제안한다. 클러스터링을 통해 센서 네트워크를 나눈 다음 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 프로토콜을 제안한다. 네트워크 확장성을 위해 센서 네트워크 구조는 클러스터내에서 싱글 홉 전송보다는 멀티홉 전송을 지원해야 한다. 멀티홉 전송시 발생하는 중간 노드의 과도한 에너지 소비를 개선하기 위해 주행 경로와 연계된 데이터 병합 과정을 제안한다. 실험결과는 제안 모델이 기존 방법들보다 에너지 소비 및 데이터 수집 시간 측면에서 효율적임을 보여준다.

키워드 : 모바일 싱크, 방문 알림 메시지, 클러스터링, 멀티홉

Abstract This paper proposes a data gathering method by adapting the mobile sink to prolong the whole operation time of large WSNs. After partitioning a network into several clusters, a mobile sink visits each cluster and collects data from it. An efficient protocol improves the energy efficiency by delivering messages from the mobile sink to the cluster head as well as reduces the data gathering delay, which is the disadvantage of the mobile sink. For the scalability of sensor network, the network architecture should support the multihop transmission in the cluster rather than the single hop tansmission. The process for the data aggregation linked to the travelling path is proposed to improve the energy consumption of intermediate nodes. The experiment results show that the proposed model is more efficient than legacy methods in the energy consumption and the data gathering time.

Key words : mobile sink, visit notification message, clustering, multihop

1. 서 론

무선 센서 네트워크에서 가장 중요한 자원은 노드가 보유한 에너지이다. 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 많이 소모된다. 이러한 경우들은 결국 전체 센서 네트워크 수명을 단축시킨다.

최근에는 싱크 노드가 한 장소에 고정되어 있지 않고 전체 네트워크를 순회하며 데이터를 수집하는 모바일 싱크에 대한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 연구는 광범위한 지역을 이동하며 감시해야 하는 환경에 적용할수

· 이 연구는 2009년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임

† 정 회 원 : 영남대학교 대학원 컴퓨터공학과
admin@kernelman.com
†† 종신회원 : 영남대학교 전자정보공학과 교수
b.ahn@yu.ac.kr

논문접수 : 2009년 9월 2일
심사완료 : 2009년 11월 10일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

있다. 예를 들어, 교통 상황 모니터링, 야생 동물 생태 연구, 오염 지역 통제 등의 응용 프로그램에서는 상황에 따라 데이터 수집 지점이 고정되지 않고 변할 수 있다.

모바일 싱크의 유리한 점은 원하는 데이터를 보유한 센서 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 프로토콜을 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 가져올수 있어서 전체 이동 시간을 줄일 수 있다.

클러스터링을 위하여 LEACH의 확률 기반 클러스터링 방법을 이용한다[1]. 그러나 LEACH 알고리즘에서는 센서 데이터를 전송해야 하는 노드와 헤드 노드사이에 싱글 홉으로 데이터가 전송된다. 다양한 네트워크 구조를 위해서는 클러스터내에서 멀티홉이 지원되어야 한다. 멀티홉 전송을 위해 전송 경로를 설정하고 경로를 따라 중간 노드가 자식 노드들의 데이터를 병합한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 모바일 싱크를 사용한 센서 네트워크의 연구동향을 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 사용된 센서 네트워크의 특징에 대해 설명한다. 4장에서는 데이터 수집 시간을 단축시키기 위한 방문 알림 메시지 및 클러스터내 경로 설정에 대해 설명한다. 5장에서는 시뮬레이션을 통한 성능평가에 대해 알아보고, 6장에서 결론을 기술한다.

2. 관련 연구

고정 싱크를 위해 제안된 LEACH는 센서 네트워크에서 주기적으로 데이터를 수집해야 하는 응용 프로그램을 위한 클러스터링 프로토콜이다[1]. LEACH는 노드 자신이 정한 확률에 따라 스스로 클러스터의 헤드가 된다. LEACH는 각 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 대두되었다. Shah와 Somasundara는 MULE(data Mobile Ubiquitous Local area network Extensions)이라는 모바일 싱크가 센서 주변에서 데이터를 수집, 버퍼에 저장한 후 유선 액세스 포인트에 전달한다[2,3]. 이 방법은 모든 노드들을 방문하여야 하므로 데이터 수집하는데 시간이 많이 소요된다. Kansal은 하나의 모바일 싱크가 고정 경로를 따라 움직이도록 설계하였는데, 경로 주변 노드들에서 에너지 소비가 많은 단점을 가지고 있다[4]. Cano는 노드의 밀도가 낮은 광역 네트워크에서 클러스터가 멀티홉을 지원한다. 하지만 모바일 싱크를 사용하지 않으며 싱크 주변 노드의 에너지 소비 편중 현상이 나타난다[5].

모바일 싱크에 의한 데이터 수집 모델 중에는 클러스터처럼 계층적 전송 구조를 가지는 랑데부(rendezvous) 방식과 백본(backbone) 방식이 있다. TTDD[6], RailRoad[7], LBDD[8] 들과 같은 랑데부 방식이 가진 단점은 네트워크에서 발생한 모든 데이터가 랑데부 영역으로 집중되기 때문에 병목 현상이 발생한다. 따라서 노드의 부담을 분산시키기 위한 방법이 필요하다. DDB[9], HCDD[10] 들과 같은 백본 방식의 최대 단점은 백본 노드들의 에너지 소비에 따라 가상 구조를 변경해야 한다. 또한 백본 방식은 가상 하부 구조를 사용하므로 랑데부 방식처럼 특정 노드들에 트래픽이 집중되는 문제를 일으킨다.

본 논문은 모바일 싱크를 사용하는 클러스터 기반 네트워크에서 클러스터내 멀티홉 전송이 가능한 새로운 데이터 수집 프로토콜을 제안한다. 모바일 싱크를 지원하는 계층적 전송 구조의 기존 모델들이 가진 트래픽 집중 문제를 해결하기 위해 LEACH의 클러스터링 알고리즘에 모바일 싱크를 적용하는 방법을 보여준다. 또한 모바일 싱크의 단점인 데이터 수집 시간을 최적화하기 위해 싱크의 주행 정보를 클러스터에 미리 알려주는 새로운 방법을 도입하였다. 실험을 통해 제안 모델이 에너지 효율 및 데이터 수집 시간의 두가지 측면에서 모바일 싱크에 대한 기존 연구들보다 개선된 계층적 전송 구조 모델임을 확인한다.

3. 센서 네트워크 모델

센서 네트워크는 사각형 공간에 분산된 N개의 센서들로 이루어지며 다음 사항들을 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 데이타를 발생시킨다.
- 멤버 노드는 데이터 전송 요청이 있을 때만 헤드 노드로 데이터를 전송한다.

4. 싱크의 주행 시간 단축

4.1 클러스터 정보 수집

센서 네트워크의 노드들 중에서 특히 에너지 소모가 많은 두가지 경우가 있는데, 하나는 싱크 주변 노드들로서 모바일 싱크에 의해 이 문제는 해결된다. 다른 하나는 네트워크를 센서들의 소집합인 클러스터로 나누었을 때 헤드 노드이다. 헤드 노드는 멤버 노드들의 데이터를 수집하여 싱크 노드로 전달하여야 하므로 멤버 노드들에 비해 에너지를 많이 소비한다. 따라서 같은 기종 센서 네트워크에서는 노드들이 돌아가면서 헤드 노드 역할을 한다. LEACH 알고리즘에서는 네트워크를 클러스터들로 나눌 때 잔여 에너지가 많은 노드가 헤드 노드가 될 확률이 높도록 하였다. 이 방법은 노드들의 에너지가 균등하게 소비되도록 유도한다. 본 논문은 헤드 노드로 인한 에너지 소비 불균형이 발생하지 않도록 LEACH의 클러스터링 알고리즘을 사용한다.

클러스터링 후에 모바일 싱크는 각 클러스터의 헤드 노드를 방문하여 데이터를 수집한다. 따라서 싱크는 클러스터를 방문하기 전에 각 클러스터의 헤드 노드를 알고 있어야 한다. 이론적으로 모든 노드들의 초기 에너지를 안다면 매 클러스터링마다 각 노드의 잔여 에너지를 계산하여 다음 클러스터링의 헤드 노드들을 알수 있다. 그러나 확률에 의해 헤드를 정한다면 싱크가 노드들의 에너지를 알고 있더라도 현재 클러스터가 어떻게 구성되었는지를 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 싱글 홉으로 브로드캐스팅한다. 이 메시지를 받은 헤드 노드는 클러스터링 단계에서 사용하는 그림 4의 *헤드 노드 알림* 메시지를 싱크에게 보낸다. 다만 클러스터링 단계에서는 이 메시지가 전체 노드에 브로드 캐스팅되지만 여기서는 싱크에게만 보내진다. 이 메시지는 헤드 노드 자신의 ID를 포함한 매우 짧은 메시지이므로 시스템 성능에 미치는 영향은 미미하다. 헤드 노드들을 확인후 방문할 첫 번째 헤드 노드에 다음 절에서 설명할 *방문 알림 메시지*를 보낸다. 이제 싱크는 헤드 노드들의 위치에 따른 주행경로를 계산한 후 출발한다.

4.2 방문 알림 메시지

모바일 싱크가 데이터를 수집하는데 걸리는 전체 시간은 경로 이동 시간과 데이터 업로딩(uploading) 시간에 의해 결정된다. 최소 경로 이동 시간은 TSP(Traveling Salesman Problem)에 해당하며 경로 길이와 직접적인 연관이 있다. 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 수집할 수 있으나 노드의 모든 데이타를 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 노드 및 헤드 주변 노드들이 클러스터내 전체 노드들의 데이터를 수집해서 대기한다. 이렇게 함으로써 싱크가 클러스터를 방문한 후 헤드 노드가 데이터 수집을 마칠 때까지 기다리는 시간을 최소화할 수 있다.

싱크는 방문을 알리는 *방문 알림 메시지*를 다음 방문 클러스터에 전달하기 위해 메시지를 다음 클러스터 헤드에 직접 전달한다. 메시지에는 Direct Diffusion의 *interest* 패킷과 같은 특정 명령을 실어 보낼 수 있다[11]. 예를 들어 최근 데이터만을 요청하거나 감시지역의 중요도에 따라 클러스터마다 요청 데이터의 양을 다르게 할 수 있다.

모바일 싱크가 데이터를 수집하는 과정은 그림 1과 같다. 모바일 싱크는 매 클러스터링 마다 헤드 노드의 ID를 수집한다. 수집한 헤드 노드의 위치를 바탕으로 TSP 알고리즘을 실행하여 클러스터 방문 경로를 결정한다. NP-complete 문제로 알려진 TSP를 위해 현재까지 많은 휴리스틱 알고리즘이 개발되었다. 본 논문에서는 TSP 경로를 결정하기 위해 Greedy 알고리즘을 사용하였다[12]. 싱크가 TSP를 계산하는 시간이 길어지면 데이터 수집 시간에 악영향을 미친다. Greedy 알고리즘은 경로의 최적성은 낮으나 계산 시간이 빨라서 방문 알림 메시지의 효과를 확인하기에 유리하다.

사용자가 네트워크의 데이터가 필요하면 서버를 통해 싱크에 데이터 수집 명령을 전달한다. 모바일 싱크는 서버로부터 데이터 수집 명령이 있으면 방문할 첫 번째 헤드 노드에 방문 알림 메시지를 싱글 홉으로 전송한 후 그 헤드 노드로 출발한다. 이 메시지는 제어 문자(예를 들어 "V") 및 *수집 조건 명령*으로 이루어진다. 헤드 노드는 클러스터링 이후 싱크의 방문 알림 메시지를 듣기 위해 대기하여야 한다. 메시지를 받은 헤드 노드는

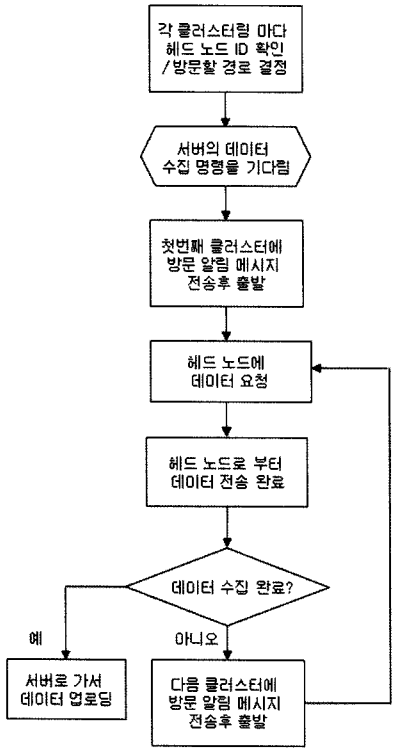

그림 1 모바일 싱크의 데이터 수집 플로우 다이어그램

수집 조건을 확인한 후 4.3절에서 설명하는 것처럼 데이터 요청 메시지를 자식 노드들에게 보냄으로써 클러스터내 데이터들을 수집하기 시작한다.

싱크는 헤드 노드에 도착한 후 데이터 요청 신호를 헤드 노드에 보낸다. 싱크가 도착할 때 까지 헤드 노드가 데이터 수집을 완료하지 못하였을 경우 모바일 싱크는 완료될 때 까지 기다린다. 헤드 노드로부터 데이터를 받으면 다음 방문할 헤드 노드에 방문 알림 메시지를 전송한 후 그 헤드 노드로 출발한다. 모든 헤드 노드에 대한 방문을 마치면 서버로 가서 수집한 데이터를 업로딩한다. 서버는 수집한 데이터를 저장하고 사용자에게 수집이 끝났음을 알린다.

4.3 멀티홉 경로 설정

클러스터내에서의 멀티홉 전송을 위한 경로는 MTE (Minimum Transmission Energy) 라우팅에 의해 결정된다[13]. 센서 데이터를 가진 노드는 헤드 노드 방향의 멤버 노드들 중 전송 에너지 소비가 최소인 중간 노드를 선택하여 데이터를 전송한다. 노드 A가 노드 B를 통해 노드 C로 데이터를 보내기 위해서는 노드간 거리 d에 대해 $d_{AB}^2+d_{BC}^2<d_{AC}^2$의 조건을 만족하여야 한다. 이러한 조건은 자유 공간 통신(free space transmission)에서 전송 에너지가 거리의 제곱에 비례하는 것에 근거한다[14]. 하지만 MTE 라우팅은 거리에 의해서만 경로를 결정하므로 데이터 송수신에 의한 에너지 소비는 무시한다.

데이터를 받은 중간 노드는 다시 헤드 노드 방향에 있는 자신의 중간 노드를 선택한다. 클러스터링 제어 메시지 전달과 MTE 라우팅을 위한 MAC 프로토콜로 CSMA/CA를 사용한다. 데이터 전송시 충돌을 회피하기 위해 충분한 BP(Backoff Period)를 둠으로써 데이터 충돌 및 손실이 발생하지 않는다고 가정한다.

멀티홉을 통해 데이터를 전송하면 센서 데이터를 보낼 노드와 헤드 노드 사이에 있는 중간 노드들은 자신의 데이터 뿐만 아니라 다른 노드의 데이터까지 중계하여야 하므로 에너지 소비가 크다. 표 1의 파라미터값들을 사용한 그림 2의 실험 결과는 싱크의 요청 데이터 크기가 20KB이고 모바일 싱크를 사용할 때 멀티홉인 경우 네트워크 수명이 싱글 홉인 경우의 약 1/4인 것을 보여준다. 클러스터 내에서 멀티홉을 사용하면 헤드 노드의 데이터 수집 시간도 길어지므로 멀티홉을 사용하는 장점이 없다. 따라서 네트워크 수명을 늘이기 위한 방법으로 중간 노드 및 헤드 노드는 데이터 병합을 한다.

본 논문은 싱글 홉에서의 병합을 제안한 LEACH를 확장하여 멀티홉에서의 병합을 제안한다. 멀티홉에서의 병합을 위해 중간 노드는 자식 노드들의 데이터와 자신의 데이터를 병합한다. 중간 노드가 자신의 자식 노드들을 알도록 하기 위해 *트리 확인 메시지*를 사용한다. 각 멤버 노드는 클러스터링이 완료된 후 데이터를 보낼 중간 노드로 트리 확인 메시지를 보낸다. 메시지의 크기는 제어 문자 1바이트(예를 들어 "C")와 송신 노드 ID 2바이트로 이루어진다. 트리 확인 메시지를 받은 노드는 *ACK* 신호로 응답한다. 일정시간 *ACK* 신호를 받지 못한 멤버 노드는 다른 중간 노드를 선택한 후 다시 트리 확인 메시지를 보낸다. 중간 노드들은 트리 확인 메시지

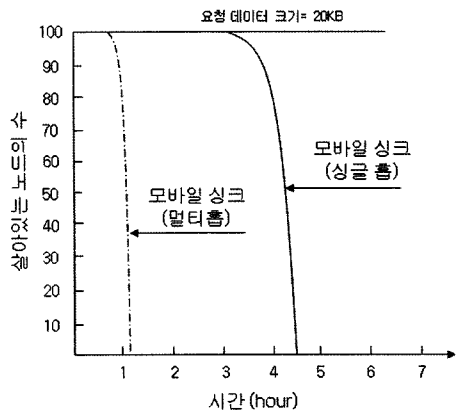

그림 2 싱글 홉 및 멀티홉의 경우 살아있는 노드의 수

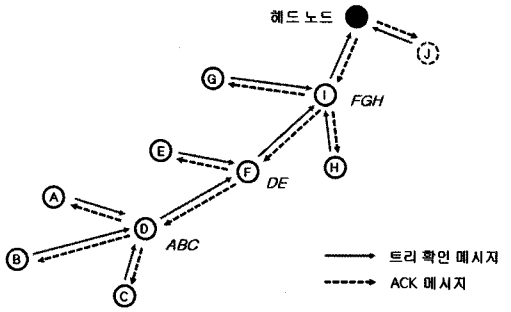

그림 3 트리 확인 메시지에 의한 자식 노드 확인

가 어느 노드로부터 왔는지 확인 후 그림 3과 같이 해당 노드 ID들을 저장한다. 이렇게 저장된 노드들의 집합은 중간 노드의 *자식 노드 집합*이 된다. 데이터를 전달할 때 노드 D는 노드 A,B,C로부터 데이터가 오기를 기다린다. 노드 F는 노드 E, D로부터, 노드 I는 노드 G, H로부터 데이터가 오기를 기다린다. 결국 노드 I는 노드 A~H의 데이터가 오기를 기다려야 한다. 헤드 노드는 I, J와 같은 인접 노드들의 데이터를 모두 받으면 데이터 수집이 완료된 것으로 결정한다.

노드의 알고리즘은 두 단계로 이루어진다. 그림 4는 노드가 수행하는 알고리즘을 나타낸다. 첫 단계에서는 네트워크를 클러스터로 나눈다. 클러스터링이 끝나면 두 번째 단계에서 헤드 노드는 모바일 싱크가 접근하여 데이터 요청을 하기를 기다린다. 그 동안 멤버 노드는 트리 확인 메시지를 전송해 자식 노드들을 확인한다. 헤드 노드가 방문 알림 메시지를 받으면 자식 노드들에게 *데이터 요청 메시지*를 보낸다. 데이터 요청 메시지를 받은 자식 노드는 다시 자신의 자식 노드들에게 요청 메시지를 보내는 식으로 메시지를 브로드캐스팅 한다. 데이터 요청 메시지를 받은 노드는 데이터를 전송하는데, 이때 자식 노드를 가진 노드는 자식 노드들의 데이터가 오기를 기다린다. 자식 노드들의 데이터를 모두 받은 노드는 자신의 데이터와 병합 후 부모 노드로 병합된 데이터를 전송한다.

응용 프로그램에 따라 데이터가 병합될수 있는 정도인 병합율은 다르다. 센서가 주기적으로 수집한 데이터가 모두 유효한 데이터라면 클러스터내 데이타 병합율은 비교적 낮다. 하지만 이벤트를 감시하는 응용 프로그램을 위해 발생하는 데이터에 대해서는 병합율을 크게 높일수 있다[1]. 예를 들어 산불 감시나 침입 탐지를 위한 경우라면 주기적으로 데이터를 수집하더라도 클러스터내 모든 노드들의 유효 데이터는 중복될 확률이 높다. 실험에서는 각 중간 노드가 자식 노드들의 데이타와 자신의 데이터를 병합한 후의 데이터의 크기가 *요청 데이타 크기*보다 크지 않다고 가정한다.

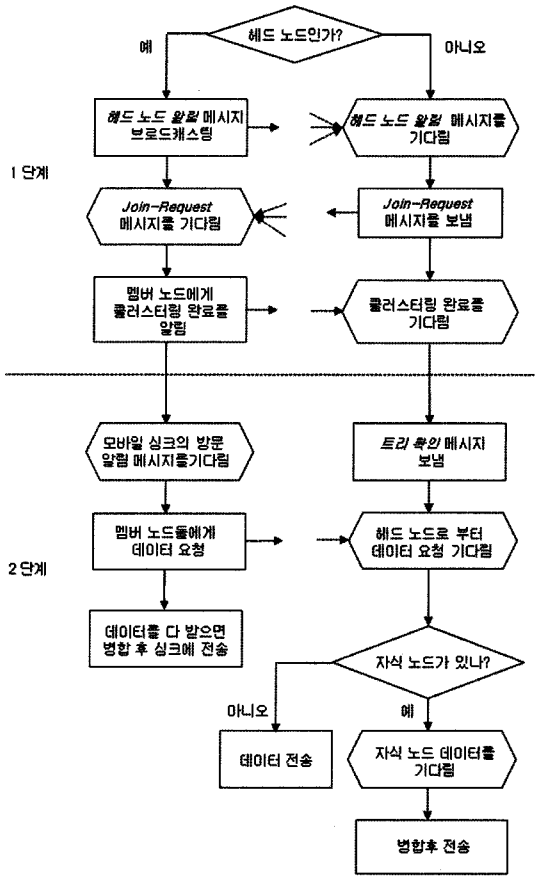

그림 4 노드의 기능 결정 및 데이터 수집에 대한 플로우 다이어그램

5. 실 험

실험 환경은 100개의 센서 노드로 이루어진다. 센서 노드들은 100m × 100m 크기의 영역에 분산되어 설치된다. 고정 싱크 위치 또는 모바일 싱크의 출발 위치는 (x=50, y=100)이다. 시뮬레이션을 위해 네트워크 시뮬레이터 ns-2를 사용하였다. 싱크의 주행 시간을 고려하여 클러스터링 주기는 24분으로 한다. 노드들의 위치 정보는 네트워크가 설치될 때 싱크에 의해 획득된다고 가정한다. 나머지 시뮬레이션을 위한 파라미터들은 표 1의 값을 사용하였다.

표 1 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
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 5는 싱크의 요청 데이터 크기가 20KB일 때 시뮬레이션 동안 살아있는 노드의 수를 나타낸다. 병합을 한 멀티홉의 경우 싱글 홉일 때 보다 네트워크 수명이 3배 이상 늘어나는 것을 볼 수 있다. 그림 6은 여러 요청 데이터 크기에 따른 모바일 싱크의 전체 주행 시간을 나타낸다. 헤드 노드가 멤버 노드들의 데이터를 모두 수집하는데 걸리는 시간은 데이터의 크기에 비례한다. 방문 알림 메시지(VM)를 사용하지 않을 경우 멀티홉이 싱글 홉보다 시간이 많이 걸린다. 그러나 방문 알림 메시지를 사용한 멀티홉에서는 오히려 주행시간이 짧아진다. 게다가 병합까지 사용할 경우 주행시간이 더욱 개선되며 요청 데이터의 크기에는 거의 영향을 받지 않는다. 이유는 싱크가 헤드 노드들로부터 받아야 하는 데이터의 크기는 *요청 데이터 크기 × 클러스터수*로서 이 데이터의 전송 시간은 전체 주행시간에 비해 무시할 수 있을 만큼 짧기 때문이다. 결론적으로 데이터 크기가 8KB일때 데이터 병합만 하는 멀티 홉에 비해 방문 알림 메시지를 함께 사용하는 멀티홉에서 수집 시간이 50% 이상 개선된다.

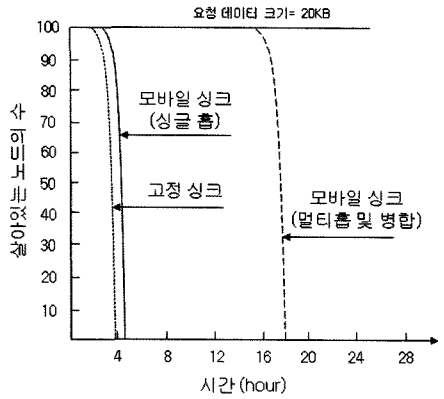

그림 5 고정 싱크 및 모바일 싱크의 살아있는 노드의 수

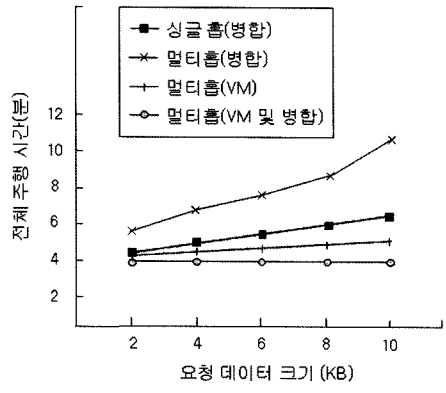

그림 6 모바일 싱크의 전체 주행 시간

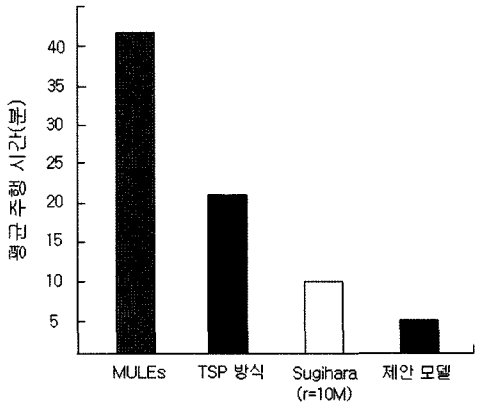

그림 7 기존 방법들과 평균 주행 시간 비교

그림 7은 평균 주행 시간에 대해 기존 방법과 제안 모델을 비교하였다. 모든 경우 요청 데이터 크기에 따른 주행 시간 변화는 크지 않아서 주행 거리가 수집 시간을 결정하였다. Sugihara는 모든 노드들의 통신 영역을 통과하는 최소 길이 경로를 선택한다[15]. 노드의 통신 반경을 10m로 하였을때 제안 모델보다 평균 주행 거리가 두배 가량 길다. 통신 반경을 크게 할수록 그 격차는 줄어들지만 실험 네트워크의 크기를 고려할때 지나치게 큰 통신 반경은 합리적이지 않다. [3]에서처럼 TSP 방식은 모바일 싱크가 모든 노드에 접근해서 데이터를 수집한다. 제안 모델이 TSP 방식에서의 평균 주행 시간의 약 23%로 나타났다. 정해진 경로없이 움직이는 MULEs 방식은 평균 주행 시간이 8배 이상 길다.

6. 결 론

모바일 싱크로 데이터를 수집하는 클러스터 지원 네트워크에서 에너지 효율 및 데이터 수집 시간의 두가지 측면에서 기존 연구들보다 최적화된 계층적 전송 구조 모델을 제안하였다. 모바일 싱크의 단점인 느린 데이터 수집 시간을 해결하기 위해 싱크의 주행 정보를 클러스터에 알리는 방법을 사용하였다. 이 방법을 위해 사용된 방문 알림 메시지는 모바일 싱크의 데이터 수집 시간을 개선시킨다. 또한 이 메시지의 수집 조건 명령은 사용자의 다양한 수집 요구에 대응하는 응용 프로그램을 구현하는 것이 가능토록 한다.

네트워크 노드들의 에너지 소비를 균등하게 하기 위해 LEACH의 클러스터링 알고리즘을 적용하였으며, 네트워크 확장성을 위해 클러스터내 멀티홉이 가능하도록 LEACH의 전송 방식을 확장하였다. 멀티홉 라우팅을 위해 이동 노드를 위한 알고리즘(예를 들어 Ad Hoc 알고리즘)보다 비용이 적게 드는 MTE 라우팅을 사용하였으며, 데이터를 중계하는 중간 노드의 과도한 에너지

소비 문제를 개선하기 위해 전송 경로와 연계된 데이터 병합 방법을 제안하였다.

실험을 통해 멤버 노드와 헤드 노드간의 전송이 싱글 홉일때와 멀티홉일때의 네트워크 수명과 데이터 수집 시간을 비교하였다. 데이터 수집 시간에 대한 방문 알림 메시지의 효과는 멀티홉일때 큰 것으로 나타났다. 멀티 홉 전송에서 데이터 크기가 8KB일 때 방문 알림 메시지를 사용할 경우 사용하지 않을때보다 수집 시간이 50% 이상 개선되는 것을 볼수 있었다. 마지막으로 기존 방법들과 평균 주행 시간을 비교하였을 때 제안 모델의 주행 시간이 크게 줄어드는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

[1] W. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," Ph.D. Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, MIT, Cambridge, MA, June 2000.

[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] Somasundara A.A., Ramamoorthy A., Srivastava M.B., "Mobile element scheduling for efficient data collection in wireless sensor networks with dynamic deadlines," In: *RTSS*, pp.296.305, 2004.

[4] 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.

[5] C. Cano, B. Bellalta, P. Villalonga, J. Perello Multihop, "Cluster-based Architecture for Sparse Wireless Sensor Networks," *European Wireless 2008*, 22-25 June 2008.

[6] H. Luo, F. Ye, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "TTDD: Two-tier data dissemination in large-scale wireless sensor networks," *ACM Journal of Mobile Networks and Applications (MONET), Special Issue on ACM MOBICOM (2003)*, 2003.

[7] J. H. Shin, J. Kim, K. Park, and D. Park, "Railroad: virtual infrastructure for data dissemination in wireless sensor networks," *Proceedings of the 2nd ACM International Workshop on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks (PE-WASUN'05)*, pp.168-174, Oct. 2005.

[8] E. B. Hamida and G. Chelius, "A line-based data dissemination protocol for wireless sensor networks with mobile sink," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC 2008)*, Beijing, China, May 2008.

[9] J.-L. Lu and F. Valois, "On the data dissemination in wsns," in *3rd International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, New-York, USA, October 2007.

[10] C.-J. Lin, P.-L. Chou, and C.-F. Chou, "Hcdd: hierarchical clusterbased data dissemination in wireless sensor networks with mobile sink," in *IWCMC '06: Proceedings of the 2006 international conference on Wireless communications and mobile computing*. New York, NY, USA: ACM, pp. 1189-1194, 2006.

[11] 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.

[12] Kruskal, J. B., "On the shortest spanning tree of a graph and the travelling salesman problem," In: *Proceedings of the American Mathematical Society*, vol.7, no.1, pp.48-50, 1956.

[13] 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.

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

[15] Sugihara, R., Gupta, R.K., "Data mule scheduling in sensor networks: Scheduling under location and time constraints," *UCSD Tech. Rep. CS2007-0911*, 2007.

박 장 수

1992년 영남대학교 물리학과 학사 졸업 2005년 아주대학교 정보통신대학원 석사 졸업. 2006년~현재 영남대학교 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 정보보호, 실시간 시스템, 센서 네트워크

안 병 철

1976년 영남대학교 전자공학과 학사 졸업. 1986년 오레곤주립대 전기 및 컴퓨터공학 석사 졸업. 1989년 오레곤주립대 전기 및 컴퓨터공학 박사 졸업. 1976년~1984년 국방과학연구소연구원. 1989년~1992년 삼성전자 수석연구원. 1992년~현재 영남대학교 전자정보공학부 교수. 관심분야는 임베디드시스템, 실시간운영체제, 멀티미디어처리