싱글 홉 센서 네트워크에서 모바일 싱크를 위한 데이터 가중치 기반 스케줄링 기법

조영태°, 박총명, 이좌형, 김 윤, 정인범
강원대학교 컴퓨터학부
{ ytjoe°, cmpark, jhlee, yooni, ibjung }@snslab.kangwon.ac.kr

Data Weight based Scheduling Scheme for Single-hop Sensor Networks with Mobile Sink

Young-Tae Jo°, Chong-Myung Park, Joa-Hyoung Lee, Yoon Kim, In-Bum Jung
Department of Computer Science and Engineering, Kangwon National University

요 약

센서 네트워크는 데이터를 수집하는 싱크 주변에 있는 센서 노드가 극심한 에너지 소비를 보이는 문제가 있다. 이러한 싱크 주변 센서 노드의 에너지 소비 분산을 위해 모바일 싱크를 사용한 데이터 수집방법에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다. 모바일 싱크를 사용하여 데이터를 수집하기 위해서는 각 센서 노드별 데이터 수신 순서를 스케줄링하여 각 센서 노드에게 균등한 데이터 전송 기회를 부여하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 싱글 홉 센서 네트워크에서 모바일 싱크를 이용한 균등한 데이터 수집을 위한 데이터 가중치 기반 스케줄링기법인 DWEDF를 제안한다. 또한 시뮬레이션을 통해 여러 다른 스케줄링 기법들에 비해 약 1.5배에서 3배가량 높은 성능을 보임으로써 그 효율성을 검증하였다.

1. 서 론

최근 저전력, 저비용 통신기술과 MEMS(MicroElectro Mechanical Systems)기술의 발전에 힘입어 센서 네트워크에 사용되는 센서 노드의 성능은 향상되고 크기는 점차 작아지고 있다. 이러한 센서 네트워크를 이용하여 일상 환경이나 사람이 살지 않는 특정 환경 등에서 다양한 정보 수집이 가능하다. 센서 노드들로부터 센싱 정보를 수집하기 위해서는 싱크로 데이터를 전송하는 방법에 대한 연구가 중요하다.

센서 네트워크는 센싱된 정보를 싱크로 전송해야 하므로 싱크주변 센서 노드의 에너지 소비가 극심한 문제가 있다. 싱크 주변 센서 노드는 자신이 센싱한 데이터 뿐만 아니라 싱크에서 먼 센서 노드의 센싱 데이터까지 모두 싱크로 전송하기 때문이다. 싱크 주변 센서 노드의 증가된 전송 데이터 양으로 에너지 소비가 급증하면 싱크 주변 센서 노드부터 에너지가 모두 소비된다. 싱크 주변 센서 노드부터 에너지가 모두 소비되면 싱크로 데이터를 전송할 수 없게 되고, 이는 전체 센서 네트워크의 수명을 짧아지게 만드는 원인이 된다. 센서 네트워크의 수명을 증가시키기 위해서는 싱크 주변 센서 노드의 에너지 소비를 다른 센서 노드들에게 분산시켜야 한다. 이를 위해 최근 모바일 싱크를 적용한 에너지 소비 분산에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1, 2, 3].

모바일 싱크는 각 센서 노드로부터 데이터를 수신하는 싱크가 이동하는 것으로 센서 네트워크 전체를 이동하며 각 센서 노드들로부터 데이터를 수집하는 노드를 말한다. 이동 중 모바일 싱크의 통신범위 안에는 하나 이상의 센서 노드들이 감지된다. 이 때 모바일 싱크와 통신 가능한 모든 센서 노드로부터 균등한 데이터의 양을 수집해야 한다. 어느 한 센서 노드에서는 많은 데이터를 수집하고 다른 센서 노드에서는 데이터를 수집하지 않는다면 데이터를 수집하지 않은 센서 노드가 위치한 지역의 정보는 얻을 수 없기 때문이다. 이것은 센서 네트워크를 이용한 환경 모니터링에서는 치명적 오류로 작용할 수 있다.

모든 센서 노드로부터 균등한 데이터를 수집하기 위해서는 각 센서 노드로부터 데이터를 수신하는 순서에 대한 스케줄링이 필요하다. 현재 여러 연구 분야에서 다양하게 사용되는 실시간 스케줄링 기법으로 EDF(Earliest Deadline First)스케줄링이 있다[9]. 이 스케줄링은 데드라인에 가장 가까운 태스크를 먼저 실행시키는 스케줄링 기법이다. 본 논문에서는 EDF를 개선한 DWEDF(Data Weight based EDF)를 제안한다. 센서 네트워크에서 균등한 데이터를 수집하기 위해서 데이터 수신 우선순위

선정 시 수신한 데이터양을 가중치로 적용해야 한다. 제안하는 DWEDF는 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간에 각 센서 노드로부터 수신된 데이터양을 가중치로 적용하여 균등한 데이터 수집을 할 수 있도록 설계하였다.

DWEDF의 성능을 비교 및 평가하기 위해 FCFS(First Come First Serve)와 RR(Round Robin), NEDF(Node based Earliest Deadline First), RREDF(Round Robin Earliest Deadline First), PEDF(Packet based Earliest Deadline First) 스케줄링 기법을 사용하였다. NEDF, RREDF, 그리고 PEDF는 본 논문에서 DWEDF와 성능 비교를 위해 만들어진 스케줄링 기법으로 스케줄링 방법은 5장에서 설명한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 모바일 싱크를 사용한 센서 네트워크의 연구동향을 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 사용된 센서 네트워크의 배치 모델과 통신 모델, 모바일 싱크의 이동 모델에 대해 설명을 한다. 4장에서는 싱글 홉 센서 네트워크에서 스케줄링의 필요성과 제안하는 스케줄링 기법인 DWEDF에 대해 설명한다. 5장에서는 DWEDF의 시뮬레이션과 성능평가에 대해 알아보고, 6장에서는 결론과 향후 계획을 기술한다.

2. 관련연구

센서 네트워크에 모바일 싱크를 적용시킨 연구 분야는 크게 센싱 데이터를 모바일 싱크로 전송하기 위한 라우팅 기법 연구와 모바일 싱크의 움직임 제어 연구를 들 수 있다.

고정된 싱크로 데이터를 전송하는 라우팅 기법은 모바일 싱크에 적용하기 힘들다. 모바일 싱크는 지속적으로 움직이고 센서 노드에서 데이터를 전송해야할 경로도 바뀌게 되며 모바일 싱크의 이동에 따라 각 센서 노드의 라우팅 테이블을 변경해야 하기 때문이다. 지속적인 라우팅 테이블의 변경은 센서 노드의 부하를 증가시키게 되고 이것은 센서 노드의 에너지 소비증가로 이어진다. 이러한 라우팅 문제를 해결하기 위해 모바일 싱크에 적합한 라우팅 기법 또한 최근 활발히 연구되고 있다 [4, 5].

센서 네트워크에 모바일 싱크를 적용하기 위해서는 모바일 싱크의 움직임을 컨트롤 하는 방법이 센서 네트워크의 성능을 향상시키기 위한 중요한 요소로 작용한다. 각 센서 노드의 상태에 따라 모바일 싱크의 속도나 방향을 제어함으로써 센서 네트워크의 상태에 적응적으로 데이터를 전송 받을 수 있다[6]. 만약 각 센서 노드마다 모바일 싱크로 전송해야 하는 데이터양이 다르다면 모바일 싱크에게 전송해야 할 데이터양이 많은 센서 노드가 분포된 곳에서는 오랜 시간을 할당하여 데이터를 수집하고 데이터양이 적은 센서 노드가 분포된 곳에서는 짧은 시간을 할당하여 데이터를 수집하면 똑같은 시간을 할당한 경우 보다 전체 데이터 수집 시간을 단축시킬 수 있다. 이는 일정한 조건하에서 빠른 데이터 수집을 해야 하는 시스템에서는 보다 효율적 데이터 수집이 가능하게 한다.

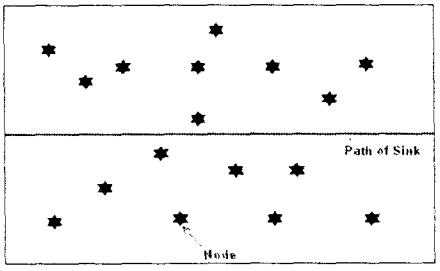

그림 1. 시스템 모델.

3. 시스템 모델

이 장에서는 본 논문에서 사용된 센서 네트워크의 배치 모델과 통신 모델, 모바일 싱크의 이동 모델에 대해 설명을 한다.

3.1 센서 네트워크 모델

전체 센서 네트워크는 N개의 고정된 센서 노드로 구성된다. 그림 1 과 같이 각 센서 노드는 독립적이고 랜덤하게 분포 하며 평면에 배치된다. 각 센서 노드는 싱글 홉으로 모바일 싱크에 데이터를 전송하고 전송할 데이터양과 소모할 수 있는 에너지양은 모두 동일하다. 센서노드에서 모바일 싱크로 전송하는 데이터 전송율 또한 모든 센서 노드별로 동일하다.

3.2 모바일 싱크 모델

모바일 싱크는 랜덤하게 분포된 센서들 사이로 고정된 직선 경로를 가진다. 본 논문에서 사용되는 모바일 싱크의 이동 경로는 다음과 같은 특징을 가진다.

- 모바일 싱크는 연속적으로 움직인다.
- 모바일 싱크의 이동경로는 이동 중 수정되지 않는다.
- 모바일 싱크의 수는 단일 싱크로 이루어진다.

3.3 통신 모델

모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 모델은 다음과 같은

특징을 가진다.

- 모바일 싱크의 이동경로 상에 존재하는 모든 센서 노드는 모바일 싱크의 통신 범위 안에 들 수 있다.
- 모바일 싱크와 센서 노드는 싱글 홉으로 통신한다.
- 모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 에러는 없는 것으로 가정한다.

4.모바일 싱크의 데이터 수집 스케줄링

4.1 스케줄링의 필요성

모바일 싱크를 사용한 싱글 홉 센서 네트워크에서 각 센서 노드로부터 균등하게 데이터를 수집하는 것은 중요한 문제이다. 만약 10개의 노드가 존재하는 지역에서 5개의 노드에서는 100%의 데이터를 수집하고 나머지 5개의 노드로부터는 0%의 데이터를 수집한다면 데이터를 수집하지 않은 노드가 위치한 지역의 정보는 얻지 못하게 된다. 예를 들어, 그림 2에서 N_2 센서노드의 위치에서 화재가 발생하였을 때 모바일 싱크가 T_1 시간동안 N_1 센서 노드로 부터 데이터를 수신한다면 N_2 센서 노드로부터 데이터를 수신하지 못하게 되므로 화재를 감지하지 못하는 문제가 발생하게 된다. 이렇듯 모바일 싱크는 모든 노드에서 균등한 양의 데이터를 수집할 수 있어야 한다.

제안하는 DWEDF 스케줄링은 모든 노드에게서 균일한 데이터 수집의 특성을 제공한다.

4.2 DWEDF

단일 모바일 싱크는 이동 중 자신의 통신범위 안에 한 개 이상의 센서 노드를 가지는 경우가 발생한다. 그림 2에서 N_1 노드는 N_2 노드에 비해 모바일 싱크와 통신할 수 있는 시간(T'_1 , T'_2)이 2배정도 길다. 만약 N_1 노드에게 데이터를 먼저 받은 후 N_2 노드에게 데이터를 받게 되면 N_1 노드에게 데이터를 받는 동안 N_2 노드는 모바일 싱크의 통신범위 밖으로 벗어나게 될 것이다. 즉, N_2 노드로부터 데이터를 먼저 수신하고 그 후 N_1 노드로부터 데이터를 수신하는 것이 효율적이다. 그러나 N_1과 N_2가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무를 수 있는 시간(T_1, T_2)이 같고 N_2 노드는 모바일 싱크에게 보내야할 데이터의 30%를 전송하였고 N_1 노드는 아직 0%의 데이터를 전송하였다면 N_1 노드로부터 먼저 데이터를 받는 것이 각 센서 노드로 부터 균등한 데이터를 수집하는데 더 효율적이다. 본 논문이 제시하는 DWEDF는 이러한 특성을 고려한 스케줄링 기법이다.

DWEDF는 데드라인에 가장 가까운 태스크를 먼저 실행시키는 스케줄링 기법인 EDF 스케줄링 기법을 기반으로 한다. EDF 기반 스케줄링은 우선 스케줄링 주기와 데드라인을 정해야 한다. DWEDF의 스케줄링 주기는 수신한 데이터양으로 하나의 노드에게서 일정 개수 이상의 패킷을 수신하게 되면 재 스케줄링을 한다. 스케줄링의 데드라인은 그림 2에서 보는 것과 같이 각 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무를 수 있는 남은 시간(T_1, T_2)이고 각 노드가 모바일 싱크에 전송한 데이터 양을 가중치로 적용한다.

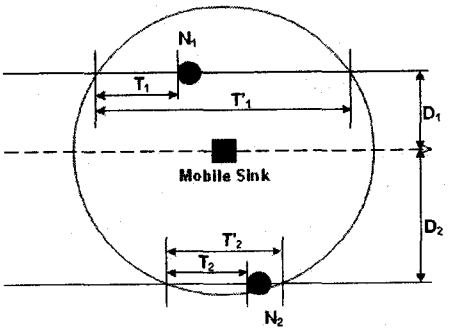

그림 2. 모바일 싱크와 센서 노드 구성도.

표 1. DWEDF의 우선순위 결정 루틴.

```
uint16_t DWEDF()
{
    uint16_t k, W, nextNode;

    W= 0xffff;
    if(isEmptyQ())
        return QueueMessage;
    else if(Rear- Front == 0)
        return Queue[Front];
    for(k= Front; k!= Rear; k = (k+1)%QUEUE_SIZE){
        Priority = T + D/(MD/10);
        if( Priority < W){
            W = Priority;
            nextNode = Queue[k];
        }
    }
    return nextNode;
}
```

표 1은 수신 데이터를 가중치로 적용한 DWEDF 스케줄링의 우선순위 결정 루틴이다. 데이터 수신 가중치가 적용된 가장 짧은 데드라인을 가진 센서 노드를 결정하기 위해서는 현재 모바일 싱크의 통신 범위 안에 있는 센서 노드의 우선순위를 계산해야 한다. 우선순위는 식 (1)을 이용하여 계산한다.

$$Priority = T + D/(M_D/10) \quad (1)$$

식(1)에서 사용된 T는 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 남은 시간이고, D는 모바일 싱크가 센서 노드로부터 수신한 패킷 수, M_D는 센서 노드가 보내야하는 전체 패킷 수이다. 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간과 모바일 싱크가 센서 노드로부터 수신한 패킷을 가중치로 합하여 우선순위를 계산한다.

표 1의 DWEDF()루틴은 가장 우선순위가 높은 센서 노드를 찾기 위해 먼저 큐를 검사하여 큐가 비어있다면 큐가 비어있다는 메시지를 반환 후 종료되고 큐에 하나의 센서 노드가 대기 중이라면 그 센서 노드를 가장 높은 우선순위로 반환한다. 큐에 하나이상의 센서 노드들이 대기 중이라면 DWEDF()루틴은 전체 큐에서 가장 높은 우선순위의 센서 노드를 결정하기위해 식 (1)을 이용하여 모든 센서 노드의 우선순위를 계산하고 그 중 가장 높은 우선순위를 가지는 센서 노드를 반환하고 종료한다.

5. 성능 평가

5.1 실험 환경

제안하는 DWEDF스케줄링 기법을 평가하기 위해 본 논문에서는 센서 네트워크를 위한 컴포넌트 기반 운영체제인 TinyOS와 시뮬레이터인 TOSSIM, Tinyviz를 이용하여 실험하였다[7]. 모바일 싱크의 움직임 제어를 위해서는 Tython을 사용하였다[8]. Tython은 TOSSIM을 위한 Java와 Python으로 구성된 스크립트 언어이다. Tython은 TOSSIM과 연동하여 모트를 움직이거나 모트에게 패킷을 전송하는 등 다양한 기능을 제공해 준다.

본 논문에서 제안하는 DWEDF를 평가하기 위해 아래와 같이 6개의 스케줄링 기법을 비교 분석하였다.

- FCFS: 모바일 싱크의 통신 범위 안으로 접근한 순서대로 데이터를 전송 받는다.
- RR: 새로운 센서 노드가 감지된 순서로 데이터 전송 후보로 저장하고, 한 노드로 부터 일정량의 패킷을 전송 받으면 다음 노드에게 데이터 전송을 받는다.
- NEDF: 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 내에 머무를 수 있는 시간을 데드라인으로 정하고, 새로운 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안으로 접근 했을 때 재스케줄링을 한다.
- RREDF: 데드라인은 NEDF와 동일하고, 데이터 전송 순서는 RR과 동일하다.
- PEDF: 데드라인은 NEDF와 동일하고, 한 노드에게서 일정량의 패킷을 수신 했을 때 재스케줄링을 한다.
- DWEDF: 본 논문에서 제안하는 스케줄링 기법으로 데드라인은 NEDF의 데드라인에 수신 데이터양을 가중치로 적용한 것이고, 센서 노드로부터 일정량의 패킷을 수신했을 때 재스케줄링을 한다.

시뮬레이션 환경은 그림 4와 같이 랜덤하게 배치한 50개의 센서 노드와 1개의 모바일 싱크로 구성하였다. 표 2 와 같이 모바일 싱크의 이동속도는 초당 2 pixel이고 통신범위는 15 pixel이다. 각 센서 노드 당 전송해야할 패킷수는 100패킷이고 초당 40패킷의 전송률로 데이터를 전송한다. 센서노드는 (25, 11) 에서 (71, 38) 사이에 분포한다. 모바일 싱크는 (5, 25) 에서 (87.5, 25) 위치로 82.5 pixel을 이동하며 센서 노드로부터 데이터를 전송 받는다.

표 2. 파라미터 테이블.

파라미터	값
이동 싱크의 속도	2 pixel/sec
이동 싱크의 통신범위	15 pixel
센서 노드의 수	50
노드당 전송할 데이터 양	100 packets
센서노드의 데이터 전송율	40 packets/sec

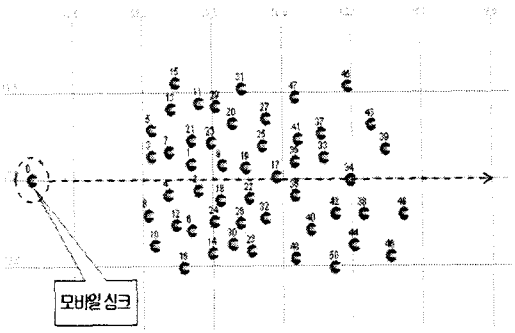

그림 3. 시뮬레이션 토폴로지.

5.2 실험 결과 및 분석

구축된 시뮬레이션 환경에서 FCFS, RR, NEDF, RREDF, PEDF, DWEDF 스케줄링의 성능을 측정하였다. 성능 측정의 척도로는 각 스케줄링 별로 수신되는 전체 패킷수를 측정하였다. 또한 센서 노드들에게서 균등한 데이터를 수집하였는지를 측정하기 위해 표준편차를 계산하였고 정확한 성능 비교를 위하여 수신패킷 수와 표준편차의 비율을 계산하였다.

그림 4는 각 스케줄링 기법에 따라 모바일 싱크가 수신한 패킷의 수를 나타낸 것이고 그림 5는 수신한 패킷의 표준편차, 그림 6은 수신한 패킷과 표준편차의 비율을 나타낸 것이다.

그림 4에서 나타나듯이 FCFS와 NEDF는 1440개 이상의 패킷을 수신 하였고 RR과 RREDF, PEDF, DWEDF는 각각 약 1430, 1420, 1410, 1430으로 비슷한 수의 패킷을 수신하였다. FCFS와 NEDF의 수신 패킷수가 가장 많은 이유는 모바일 싱크에서 센서 노드로 전달되는 데이터 요청 메시지 수에 차이가 나기 때문이다. FCFS나 NEDF는 한 센서 노드로부터 해당 센서 노드가 보내야할 데이터의 100%를 수신하거나 모바일 싱크의 통신 범위 밖으로 벗어났을 때 새로운 센서 노드로 데이터 요청 메시지를 전송한다. 하지만 RR이나 RREDF, PEDF, DWEDF는 센서 노드로부터 일정 개수 이상의 패킷을 수신하게 되거나 모바일 싱크의 통신 범위 밖으로 벗어났을 때 새로운 센서 노드로 데이터 요청 메시지를 전송하기 때문에 데이터 요청 메시지 수가 FCFS나 NEDF보다 많아지게 된다. 데이터 요청 메시지가 많아질수록 센서 노드에서 모바일 싱크로 패킷을 전송할 시간은 그만큼 줄어들게 된다.

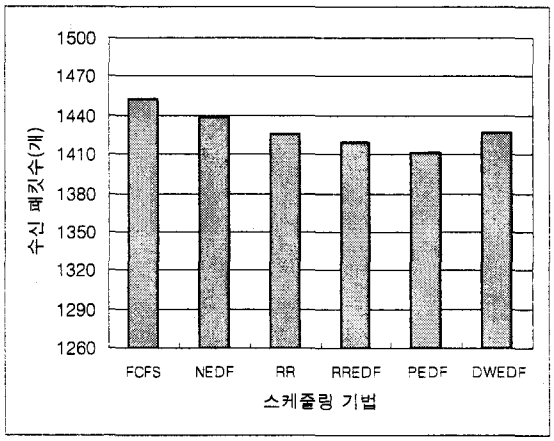

그림 4. 스케줄링 기법 별 수신 패킷수.

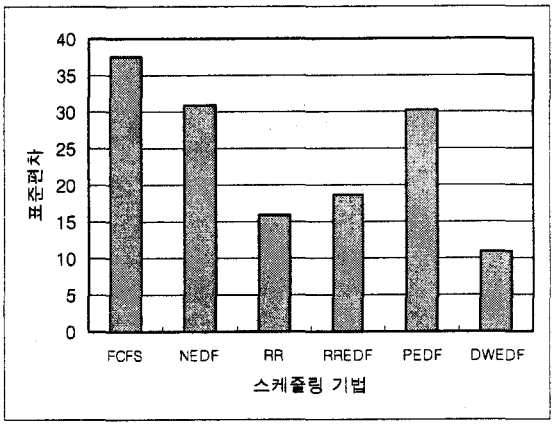

그림 5. 스케줄링 기법 별 표준편차.

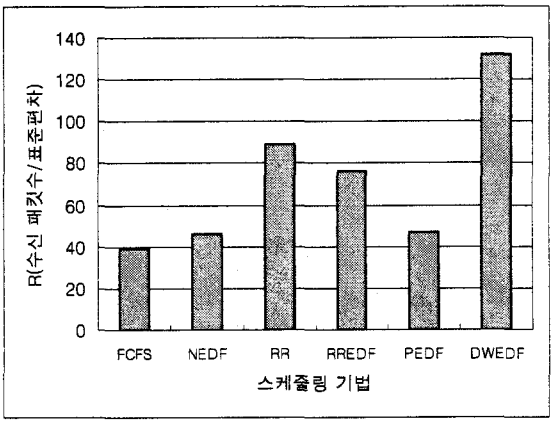

그림 6. 표준편차와 수신 패킷수의 비율.

그림 5에서 FCFS나 NEDF, PEDF는 RR, RREDF, DWEDF에 비해 표준편차가 상당히 높게 나타남을 볼 수 있다. FCFS나 NEDF는 한 센서 노드에게서 100%의 데이터를 수신하거나 모바일 싱크 범위 밖으로 벗어 났을 때만 새로운 센서 노드에게 데이터 요청을 하기 때문에 여러 노드에게 균등한 데이터 전송 기회를 부여하지 못한다. PEDF는 일정 개수의 패킷을 수신했을 때 재스케줄링을 하여도 이미 데이터를 한번 전송한 센서 노드에게 또다시 전송기회를 부여하는 중복 문제가 발생하기 때문에 표준편차가 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. RR이나 RREDF는 FCFS나 NEDF, PEDF에 비해 낮은 표준편차를 보이는데 이것은 RR의 특성상 센서 노드를 차례로 순회하며 데이터를 전송 받기 때문이다. 하지만 여전히 수신한 데이터를 고려하지 않아 DWEDF에 비해 표준

편차가 높아지는 것을 확인할 수 있다. DWEDF는 PEDF의 중복된 전송기회 부여나 RR과 같이 수신데이터를 고려하지 않는 문제점을 가지고 있지 않기 때문에 가장 낮은 표준편차 값을 나타내고 있다.

그림 6에서 DWEDF의 성능을 확인할 수 있다. FCFS나 NEDF, PEDF는 높은 표준편차로 인해 그 값이 현저히 떨어지는 것을 확인할 수 있다. RR과 RREDF, DWEDF는 수신한 패킷의 전체 수는 비슷하지만 표준 편차의 차이로 인해 DWEDF가 가장 높은 값을 나타내고 있다. 130의 수치를 보인 DWEDF는 가장 낮은 성능을 보인 FCFS의 39와 비교하여 약 3배의 성능 향상을 보였고 DWEDF를 제외한 스케줄링 기법 중 가장 높은 성능을 보인 RR의 90보다도 약 1.5배가량의 성능향상을 보이고 있다.

6. 결론 및 향후 계획

센서 네트워크의 수명을 증가시키기 위해 최근 모바일 싱크를 이용한 데이터 수집 방법이 크게 증가하고 있다. 모바일 싱크는 싱크주변 센서노드의 에너지 소비를 분산시켜 전체 수명을 증가시킨다. 본 논문에서는 싱글 홉 센서 네트워크에서 모바일 싱크를 위한 효율적 데이터 수집 스케줄링 방식인 DWEDF를 제안하고, 시뮬레이션을 통해 여러 스케줄링 기법들과 비교하여 약 1.5배 에서 3배의 높은 성능으로 그 효율성을 검증하였다.

본 논문의 시스템 모델에서 현재는 각 노드별 전송해야하는 최대 데이터양이나 모바일 싱크의 이동 경로, 속도 등을 모두 고정시킨 상태이고 센서 노드와 모바일 싱크는 싱글 홉으로만 통신을 한다.

향후에는 각 노드별 전송 데이터양, 모바일 싱크의 이동경로, 속도 등이 변화될 때의 적응적 스케줄링에 대해 연구할 계획이고, 노드 간 통신도 멀티 홉으로 확장할 예정이다.

7. 참고 문헌

[1] J. Luo, J. Panchard, M. Piorkowski, M. Grossglauser, and J. P. Hubaux, "MobiRoute: Routing towards a Mobile Sink for Improving Lifetime in Sensor Networks", International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, 2006.

[2] S. R. Gandham, M. Dawande, R. Prakash and S. Venkatesan, "Energy Efficient Schemes for Wireless Sensor Networks with Multiple Mobile Base Stations", Global Telecommunications Conference, 2003.

[3] J. Luo, J. P. Hubaux, "Joint Mobility and Routing for Lifetime Elongation in Wireless Sensor Networks", IEEE INFOCOM, Miami, 2005.

[4] A. Chakrabarti, A. Sabharwal and B. Aazhang, "Data Collection by a Mobile Observer in a Single-hop Sensor Network", ACM Transactions on Sensor Networks, 2005.

[5] D. Jea, A. Somasundara, M. Srivastava, "Multiple Controlled Mobile Elements (Data Mules) for Data Collection in Sensor Networks", DCOSS, pp.244-257, 2005.

[6] A. Somasundara, A. Ramamoorty, and M. Srivastava, ""Mobile element scheduling for efficient data collection in wireless sensornetworks with dynamic deadlines,"" in The 25th IEEE International Real-Time Systems Symposium (RTSS), 2004.

[7] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler, "Tossim: accurate and scalable simulation of entire tinyos applications," in Proceedings of the first international conference on Embedded networked sensor systems (SenSys). ACM Press, pp. 126-137, 2003.

[8] M. Demmer and P. Levis, "Tython scripting for TOSSIM", Network Embedded Systems Technology Winter, 2004.

[9] G. C. Buttazzo, "Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications", Kluwer Academic Publishers, 1997.