

모바일 싱크 기반 무선 센서 네트워크에서 균등한 데이터 수집을 위한 데이터 가중치 기반 스케줄링 기법

(Data Weight based Scheduling Scheme for Fair data
collection in Sensor Networks with Mobile Sink)

조 영 태 † 박 충 명 † 이 좌 형 † 정 인 범 ††

(Young Tae Jo) (Chong Myung Park) (Joa Hyoung Lee) (In Bum Jung)

요 약 고정 싱크 노드를 갖는 무선 센서 네트워크에서 싱크 주변 무선 센서 노드들은 배터리 에너지가 급속히 소모되는 문제를 발생시킨다. 이를 해결하기 위하여 모바일 싱크를 사용하여 데이터 수집을 하므로 무선 센서 노드들의 에너지 소모를 분산시키는 기법들에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나, 모바일 싱크는 움직이는 특성을 가지고 있으므로 모바일 싱크를 사용할 경우에는 각 센서노드들로부터 균등한 양의 데이터를 수집하기위한 데이터 수집 스케줄링이 필요하다. 실시간적 특성을 만족시켜야하는 무선 센서 네트워크의 응용 환경에서는 균등치 못한 데이터 수집은 긴급한 사건들에 대한 처리가 가능하지 않게 한다. 본 논문에서는 모바일 싱크를 이용한 센서 네트워크에서 무선 센서 노드들로부터 균등한 데이터 수집을 위한 데이터 가중치 기반 스케줄링 기법을 제안한다. 제안된 기법은 센서 노드들이 모바일 싱크와의 통신범위 안에 남아있을 수 있는 시간과 각각의 무선 센서 노드들이 모바일 싱크에게 전송한 데이터양을 스케줄링의 기준으로 사용한다. 실험을 통하여 모바일 싱크를 갖는 무선 센서 네트워크에서 제안된 기법과 기존의 데이터 수집 방법들의 성능을 평가한다. 실험 결과는 제안된 기법이 무선 센서 노드들로부터의 데이터 수집에 있어서 가장 균등 데이터 수집을 수행함을 보인다.

키워드 : 모바일 싱크, 무선 센서 네트워크, 우선순위 스케줄링, 데이터 가중치

Abstract The wireless sensor nodes near to the fixed sink node suffer from the quickly exhausted battery energy. To address this problem, the mobile sink node has been applied to distribute the energy consumption into all wireless sensor nodes. However, since the mobile sink node moves, the data collection scheduling scheme is necessary for the sink node to receive the data from all sensor nodes as fair as possible. The application fields of wireless sensor network need the real-time processing. If the uneven data collection occurs in the wireless sensor network, the real-time processing for the urgent events can not be satisfied. In this paper, a new method is proposed to support the fair data collection between all sensor nodes. The proposed method performs the scheduling algorithm based on the resident time of the sink node staying in a radius of communication range and the amount of data transferred already. In this paper, the proposed method and existing data collection scheduling schemes are evaluated in wireless sensor network with the mobile sink node. The result shows that the proposed method provides the best fairness among all data collection schemes.

Key words : mobile sink, wireless sensor network, priority scheduling, data weight

· 본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

† 학생회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신
ytjoe@snslab.kangwon.ac.kr
cmpark@snslab.kangwon.ac.kr
jhlee@snslab.kangwon.ac.kr

†† 종신회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신 교수
ibjung@snslab.kangwon.ac.kr

논문접수 : 2006년 12월 8일

심사완료 : 2007년 10월 22일

Copyright©2008 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 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.

정보과학회논문지: 정보통신 제35권 제1호(2008.2)

1. 서론

최근 저전력, 저비용 통신기술과 MEMS(MicroElectro-Mechanical Systems)기술의 발전에 힘입어 센서 네트워크의 노드 성능은 향상되고 그 크기는 점차 작아지고 있다. 이러한 센서 네트워크를 이용한다면 일상 환경이나 사람이 살지 않는 특정 환경 등에서 다양한 정보 수집이 가능하다[1]. 최근에는 센서 네트워크를 이용한 환경 모니터링과 같은 정보 수집 연구가 활발히 진행 중이다[2,3]. 이러한 정보 수집 연구에서 센서 노드들로부터 센싱 정보를 싱크로 수집하기 위해서는 데이터 전송 방법에 대한 연구가 중요하다.

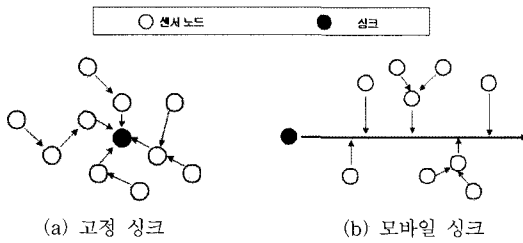


그림 1 센서네트워크 구성도

기존 센서 네트워크는 고정 싱크를 위한 라우팅 기법이 연구되었다[4,5]. 하지만 고정 싱크를 사용한 센서 네트워크는 싱크주변 센서 노드의 에너지 소모가 극심한 문제가 있다. 그림 1의 (a)와 같이 고정 싱크 주변의 센서 노드는 자신이 센싱한 데이터뿐만 아니라 싱크에서 먼 센서 노드의 센싱 데이터까지 모두 싱크로 전송하기 때문이다. 싱크 주변 센서 노드의 증가된 전송 데이터 양으로 에너지 소모가 급증하면 싱크 주변 센서 노드부터 에너지가 모두 소모된다. 이러한 에너지 소모는 싱크로 데이터를 전송할 수 없게 만들고, 이는 전체 센서 네트워크의 수명을 짧아지게 만드는 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하려면 싱크 주변 센서 노드의 에너지 소모를 다른 센서 노드들에게 분산시켜야 한다. 이를 위해 최근 모바일 싱크를 적용한 에너지 소모 분산 연구가 활발히 진행되고 있다[6,7].

모바일 싱크는 그림 1의 (b)와 같이 싱크가 이동하며 각 센서 노드로부터 데이터를 수집한다. 모바일 싱크는 이동 중 자신의 통신범위 안에 하나 이상의 센서 노드들과 만나게 되고 이 때 모바일 싱크는 통신범위 안에 존재하는 센서 노드들로부터 균등한 양의 데이터를 수집해야 한다. 어느 한 센서 노드에서는 많은 데이터를 수집하고 다른 센서 노드에서는 데이터를 수집하지 않는다면 데이터가 수집되지 않은 센서 노드가 위치한 지역의 정보는 얻을 수 없기 때문이다. 이것은 센서 네트

워크를 이용한 환경 모니터링에서는 치명적 오류로 작용할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 모든 센서 노드들로부터 균등한 데이터를 수집하기 위한 스케줄링이 필요하다. 본 논문에서는 데이터 수신 스케줄링을 위해 두 가지 큐잉모델을 사용한다. 하나는 센서 노드 단위 스케줄링 큐잉모델이고, 다른 하나는 패킷 단위 스케줄링 큐잉모델이다. 센서 노드단위 스케줄링 큐잉모델은 모바일 싱크의 이동에 따라 통신 범위 안으로 접근하는 센서 노드단위로 스케줄링의 주기를 결정하는 것이다. 이것은 센서 노드가 전송해야 하는 전체 데이터를 전송하면 재 스케줄링을 한다. 반면 패킷 단위 스케줄링 큐잉모델은 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 센서 노드로부터 일정량의 데이터를 수신하면 재 스케줄링을 한다.

모바일 싱크를 사용한 데이터 수집은 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간이 제한되어 있기 때문에 실시간성이 보장되는 스케줄링이 필요하다. 현재 여러 연구 분야에서 다양하게 사용되는 실시간 스케줄링 기법으로 EDF(Earliest Deadline First)스케줄링이 있다[8]. 이 스케줄링은 데드라인에 가장 가까운 태스크를 먼저 실행시키는 실시간 스케줄링 기법이다. 본 논문에서는 실시간성을 보장하기 위해 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간을 데드라인 기준으로 한다. 하지만 이러한 방법은 센서 노드로부터 균등한 양의 데이터 수신을 보장할 수 없다. 균등한 데이터를 수집을 보장하기 위해서는 기존의 EDF스케줄링의 데드라인 계산 시 수신한 데이터양을 가중치로 적용해야 한다. 본 논문에서는 EDF의 실시간성을 보장하고 균등한 데이터 수집을 할 수 있는 DWEDF(Data Weight based EDF)를 제안한다. DWEDF는 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간에 각 센서 노드로부터 수신된 데이터양을 가중치로 적용하여 모든 센서 노드들로부터 균등한 데이터 수집을 보장한다.

본 논문에서는 DWEDF의 성능을 평가하기 위하여 싱글 홉으로 구성된 센서 네트워크의 여러 센서 노드들 사이에서 전송된 패킷의 수와 각각의 노드별 전송 Fairness Index를 측정한다. 측정된 결과를 통하여 기존의 스케줄링 기법들과 비교하여 제안된 DWEDF의 효율성을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 균등성을 위한 기존의 스케줄링 기법과 모바일 싱크를 사용한 센서 네트워크의 연구동향을 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 사용된 센서 네트워크의 배치 모델과 통신 모델, 모바일 싱크의 이동 모델, 큐잉 모델에 대해 설명을 한다. 4장에서는 싱글 홉 센서 네트워크에서 데이터 수집에서의 스케줄링 필요성과 제안하는 DWEDF에 대해

설명한다. 5장에서는 DWEDF의 모의실험과 성능평가를 기술하고 6장에서는 결론 및 향후 계획을 제시한다.

2. 관련연구

2.1 스케줄링 기법

기존의 스케줄링 기법 중 네트워크 사용자에게 균등성을 제공하는 방법에는 여러 가지가 있다. GPS(Generalized Processor Sharing)알고리즘은 라운드 로빈 형식으로 패킷을 보내는 알고리즘이다[9]. 다만 패킷을 매우 작은 양으로 나누어 큐마다 동등하게 보내기 때문에, 이론적으로 이상적인 균등성을 제공하지만, 실현될 수 없는 단점이 있다.

이를 보완한 패킷 단위 스케줄링 기법으로 WFQ(Weighted Fair Queuing)알고리즘이 제시되었다[10]. 이 스케줄링은 PGPS(packet-by-packet GPS)로도 알려져 있다. 이 알고리즘은 각각의 큐에 가중치를 정의하고 해당 가중치가 높은 큐부터 서비스를 제공한다. 각 큐간의 균등성을 보장하기 위한 시스템에서 많이 활용되고 있는 스케줄링 기법이다.

큐잉 정책을 이용한 알고리즘과는 달리 라운드 로빈 정책을 이용한 스케줄링이 있다. PBRR(packet Based Round Robin)알고리즘은 패킷 단위로 큐들을 순서대로 돌아가면서 서비스한다. 구현이 용이하고 같은 사이즈의 패킷 전송에는 균등성이 보장되지만 다양한 사이즈의 패킷 전송에는 큐들간의 데이터 처리에 대한 균등성 보장이 힘들다.

실시간성을 보장하기 위한 스케줄링 알고리즘으로 EDF(Earliest Deadline First) 스케줄링 기법이 있다. EDF 스케줄링은 데드라인에 가장 가까운 태스크를 먼저 실행시키는 알고리즘으로 실시간성을 요구하는 시스템에 많이 사용된다. 모바일 싱크를 사용한 데이터 수집은 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간이 제한되어 있기 때문에 실시간성이 보장되는 스케줄링이 필요하다. 본 논문에서는 기존의 EDF를 개선한 DWEDF(Data Weight based on EDF)를 제안한다. DWEDF는 EDF의 실시간성 지원 기능을 포함할 뿐만 아니라 센서 노드로부터 수신된 데이터양을 가중치로 적용하여 균등한 데이터 수집을 보장한다.

2.2 모바일 싱크

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.

기존의 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 소모증가로 이어진다. 이러한 라우팅 문제를 해결하기 위해 모바일 싱크에 적합한 라우팅 기법 또한 최근 활발히 연구되고 있다[11,12].

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[13]. 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.

[12]에서는 큐잉 이론을 이용하여 모바일 싱크에서의 데이터 수집에 관한 연구를 진행하였다. 이 연구에서는 모바일 싱크의 범위에 들어오는 노드들을 큐잉모델에 따라 처리하는 개념을 도입하였다. 정립된 큐잉모델을 기반으로 센서노드로부터 모든 데이터를 수신하기 위한 센서 노드의 RF 라디오 범위를 제시하였다. 이 연구에서는 하나의 센서노드가 가지고 있는 모든 데이터를 수신하는 것이 중요하며 데이터를 모두 수신하지 못하고 범위 밖으로 밀려나는 것은 데이터가 손실되는 것으로 간주하고 있다. 하지만 이럴 경우 일부의 노드로 부터는 데이터를 전혀 수신하지 못하는 문제점이 발생하여 노드에서의 센싱 작업이 무의미해지는 결과를 초래할 수 있다. 또한 모바일 싱크의 통신범위 안에 있는 노드들 중에서 어떠한 노드로부터 데이터를 수신할 것인가라는 스케줄링에 관하여서는 언급하지 않고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 노드별로 균등한 데이터를 수신할 수 있도록 하여 노드들이 센싱한 데이터를 최대한 이용할 수 있도록 하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 여러 노드들이 모바일 싱크의 통신범위에 속하는 경우 스케줄링 기법에 따라 성능에 많은 차이가 날 수 있으므로 이에 대한 연구가 이루어져야 한다.

3. 시스템 모델

이 장에서는 본 논문에서 사용된 센서 네트워크 동작

환경과 모바일 싱크에 대해 설명한다. 모바일 싱크와 센서 노드의 배치상태와 모바일 싱크가 센서 네트워크에서 이동하는 패턴에 대해 설명하고 모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 모델과 큐잉 모델에 대해 알아본다.

3.1 센서 네트워크 배치 모델

전체 센서 노드는 그림 2와 같이 독립적이고 랜덤하게 분포하며 평면에 배치된다. 센서 노드의 전송 데이터 양은 노드별로 동일하다. 모바일 싱크와 센서 노드 간 데이터 전송률 또한 동일하다.

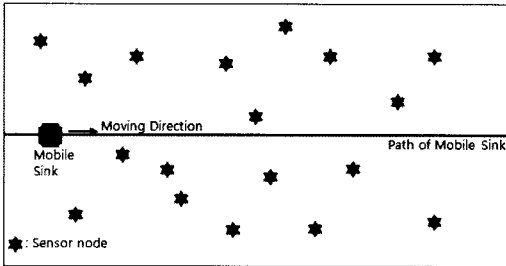


그림 2 센서 네트워크 배치 모델

3.2 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 예러는 없는 것으로 가정한다.

3.3 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.

3.4 큐잉 모델

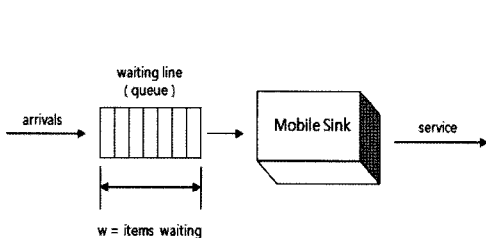
모바일 싱크와 센서 노드 간 스케줄링을 위해 그림 3과 같이 두 가지 큐잉모델을 사용한다. 센서 노드 단위 스케줄링은 센서 노드가 전송해야 하는 전체 데이터를 수신할 때 재스케줄링을 한다. 그림 3의 (a)는 센서 노드 단위의 스케줄링 큐잉모델을 나타낸다. arrivals는 새로운 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안으로 접근하는 것을 의미하고 w는 큐에서 대기중인 센서 노드의 수이다. 새로운 센서 노드가 접근했을 때 모바일 싱크가 다른 센서 노드로부터 데이터 수신 중이라면 새로운 센서 노드는 모바일 싱크의 데이터 수신이 종료될 때까지 대기큐에서 기다리게 된다. 데이터 전송 중인 센서 노드의 모든 데이터 전송이 종료되면 큐에서 대기중이던 센서 노드로부터 데이터를 수신한다. 만약 다수의 센서 노드가 대기 중 이라면 스케줄링 기법에 따라 선택된 센서 노드로 부터 데이터를 수신한다.

그림 3의 (b)는 패킷 단위의 스케줄링 큐잉 모델이다. 패킷단위 스케줄링은 센서 노드로부터 일정량의 데이터를 수신했을 때 재스케줄링이 일어난다. 그림 3의 (b)와 같이 모바일 싱크는 통신 범위안의 각 센서 노드마다 데이터 전송 큐를 가지게 된다. 모바일 싱크는 하나의 센서 노드로부터 일정 양의 데이터를 수신하면 정해진 스케줄링 기법에 의해 다른 센서 노드에게 전송기회를 부여한다. DWEDF 스케줄링 기법은 패킷 단위 큐잉모델을 사용한다.

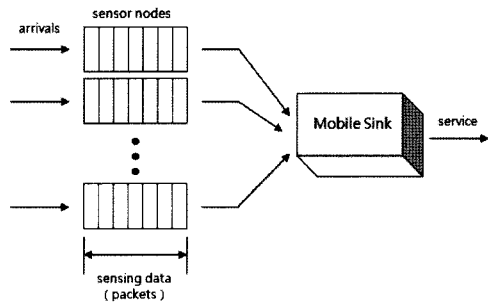
4. DWEDF(Data Weight based on Earliest Deadline First)

4.1 균등한 데이터 수집의 필요성

모바일 싱크는 센서 네트워크 영역을 이동하며 데이터를 수집한다. 이러한 이동성을 가지는 싱크는 자신과 통신할 수 있는 센서 노드의 수나 센서노드의 상태가 시시각각으로 변하게 된다. 따라서, 이러한 환경을 고려



(a) 센서 노드 단위 스케줄링



(b) 패킷 단위 스케줄링

그림 3 큐잉 모델

한 데이터 수집 스케줄링이 필요하다. 전체 센서 네트워크의 밀집도가 높은 지역에서 모바일 싱크가 각 센서 노드로부터 전체 데이터를 수신할 수 있는 충분한 시간이 없다면 모바일 싱크는 통신 가능한 시간 안에 각 센서 노드로부터 균등한 양의 데이터 수집을 해야 한다. 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.

그림 4는 모바일 싱크가 이동 중 두 개의 센서노드 (N_1 , N_2)를 만났을 때를 나타낸 것이다. 점선의 원은 모바일 싱크의 통신 범위이다. 센서노드 N_1 과 N_2 가 모바일 싱크의 통신 범위안에 접근했을 때 모바일 싱크와 통신 가능한 최대의 시간은 각각 T_1 과 T_2 이다. T_1 과 T_2 는 모바일 싱크와 센서 노드가 통신할 수 있는 남은 시간이다.

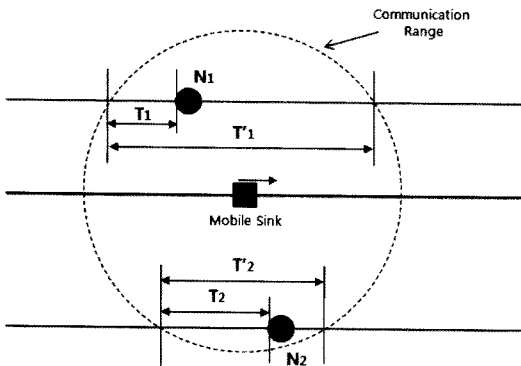


그림 4 모바일 싱크와 센서 노드 구성도

예를 들어, T_1 과 T_2 가 같고 N_2 센서노드의 위치에서 화제가 발생하였을 때 모바일 싱크가 T_1 시간동안 N_1 센서 노드로부터 데이터를 수신한다면 N_2 센서 노드로부터 데이터를 수신하지 못하게 되므로 화제를 감지하지 못하는 문제가 발생하게 된다. 이렇듯 모바일 싱크는 모든 노드에서 균등한 양의 데이터를 수집할 수 있어야 한다. 제안하는 DWEDF 스케줄링은 이러한 문제점을 해결하기 위해 모든 센서 노드로부터 균일한 데이터 수집을 보장한다.

균등한 데이터 수집을 위해서는 모바일 싱크와 통신할 수 있는 시간과 각 센서 노드로부터 전송된 데이터 양을 고려해야 한다. 예를 들어, 그림 4에서 N_1 센서 노드는 N_2 센서 노드에 비해 모바일 싱크와 통신할 수 있는 최대 시간(T_1 , T_2)이 2배정도 길다. 즉, N_2 센서 노드로부터 데이터를 먼저 수신하고 그 후 N_1 센서 노드로부터 데이터를 수신하는 것이 효율적이다. 그러나

만약 N_1 과 N_2 가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무를 수 있는 남은 시간(T_1 , T_2)이 같고 N_2 센서 노드는 모바일 싱크에게 보내야할 데이터의 30%를 전송하였으며 N_1 센서 노드는 아직 0%의 데이터를 전송하였다면 N_1 센서 노드로부터 먼저 데이터를 받는 것이 각 센서 노드로부터 균등한 데이터를 수집하는데 더 효율적이다. 본 논문이 제시하는 DWEDF는 이러한 특성을 고려한 스케줄링 기법이다.

4.2 DWEDF(Data Weight based Earliest Deadline First)

DWEDF는 여러 연구 분야에서 다양하게 사용되는 실시간 스케줄링 기법인 EDF 스케줄링을 기반으로 한다. EDF 스케줄링은 데드라인에 가장 가까운 태스크를 먼저 실행시키는 실시간 스케줄링 기법으로 스케줄링을 위해서는 스케줄링 주기와 데드라인을 정의해야 한다. DWEDF역시 EDF를 기반으로 하기 때문에 스케줄링 주기와 데드라인을 정의해야 한다. DWEDF는 균등한 데이터 수집을 위해 센서 노드로부터 일정량의 데이터를 수신했을 때 재스케줄링을 한다. 스케줄링 데드라인은 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간으로 정의 하는데 해당 시간이 가장 짧은 센서 노드를 우선시 한다. 예를 들어, 그림 4에서 센서 노드 N_1 과 N_2 의 데드라인은 모바일 싱크와 통신할 수 있는 남은 시간인 T_1 , T_2 이다. 만약 T_1 이 T_2 보다 더 짧다면 모바일 싱크는 N_1 을 더 우선시 한다. 하지만 단순히 T_1 , T_2 를 데드라인으로 사용한 스케줄링은 기존의 EDF를 모바일 싱크의 스케줄링에 적용한 것일 뿐이다. DWEDF는 균등한 데이터 수집을 위해 이전에 센서 노드로부터 수신한 데이터양을 가중치로 적용한다.

$$Priority = T + D_p/S_p \tag{1}$$

DWEDF는 자신의 통신범위 안에 머무르는 시간이 짧고 모바일 싱크에게 전송한 데이터양이 적은 센서 노드를 선정하기 위해 식 (1)을 이용한다.

식 (1)에서 T 는 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 남은 시간(그림 4에서 N_1 의 T 는 T_1 이다.)이고, D_p 는 센서 노드가 모바일 싱크에게 전송한 데이터의 양, S_p 는 센서 노드의 데이터 전송 속도이다. 우선순위는 시간 T 에 D_p 와 S_p 를 나눈값을 더하게 된다. 이것은 D_p 의 데이터를 수신한 시간을 계산하여 가중치로 적용하기 위해서이다.

모바일 싱크는 센서 노드로부터 데이터를 전송 받기 전 식 (1)의 T 를 계산하기 위해 센서 노드의 분포에 관한 사전조사를 한다. 모바일 싱크는 비컨메세지를 통해 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간을 계산한다. 그림 5와 같이 모바일 싱크는 주기적으로 비컨메세지를 브로드캐스트 하며 이동한다. 이동 중 모바일 싱크의 통신 범위안에 센서 노드가 접근하면

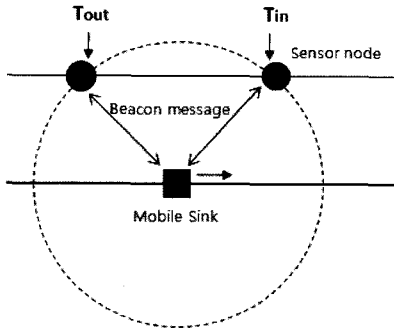


그림 5 모바일 싱크의 센서 노드 배치 조사

센서 노드는 비컨메세지의 응답 메세지를 모바일 싱크로 전송한다. 모바일 싱크는 센서 노드로부터 전송된 응답 메시지 수신 시각을 통해 T_{in} 을 알 수 있다. 또한 해당 센서 노드로부터 응답 메시지가 수신 되지 않는다면 모바일 싱크는 그 시각을 T_{out} 으로 계산한다. T_{in} 은 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 안으로 들어온 시각을 말하고 T_{out} 은 범위 밖으로 벗어난 시각이다. 모바일 싱크는 T_{in} 과 T_{out} 의 차이로 해당 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간을 계산할 수 있다.

그림 6은 식 (1)을 이용한 DWEDF의 우선순위 결정 루틴을 나타낸 것이다. DWEDF 우선순위 결정 루틴은 모바일 싱크의 통신범위 안에 하나 이상의 센서 노드가 존재할 때 수행된다. 그림 6의 front는 모바일 싱크의 큐에 저장된 첫 번째 센서 노드의 위치이고 rear는 끝 위치를 가르키며 nextNode는 DWEDF에 의해 선정된 센서 노드번호를 저장하는 변수이다. P는 식 (1)의 T와 D_p/S_p 의 합으로 이루어진 값으로 우선순위를 결정할 때 사용되는 값이다. Q는 모바일 싱크의 큐를 나타낸 것이고 Q_SIZE는 큐 크기를 말한다. DWEDF 우선순위 결정루틴은 가장 우선순위가 높은 센서 노드를 찾기 위해 먼저 큐를 검사한다. DWEDF 우선순위 결정루틴은 큐에 대기중인 전체 센서 노드 중 가장 높은 우선순위의 센서 노드를 선정하기 위해 식 (1)을 이용해 P값을 계산한다. ①은 식 (1)에 의해 계산된 P값(그림 6의 P)과 큐의 k-1위치에 있는 센서 노드의 P값(그림 6의 w)을 비교하여 큐의 k위치에 있는 센서노드의 P값이 k-1위치에 위치한 센서 노드의 P값보다 작다면 k위치의 센서 노드를 높은 우선순위로 인식하고 저장한다. 만약 두 값이 같다면 ② 루틴으로 두 노드 중 더 적은 데이터를 모바일 싱크로 전송한 센서 노드를 높은 우선순위로 선정하고 저장한다. 큐에 대기 중인 모든 센서 노드의 P를 계산하였으면(그림 6의 k와 rear가 같으면) nextNode에

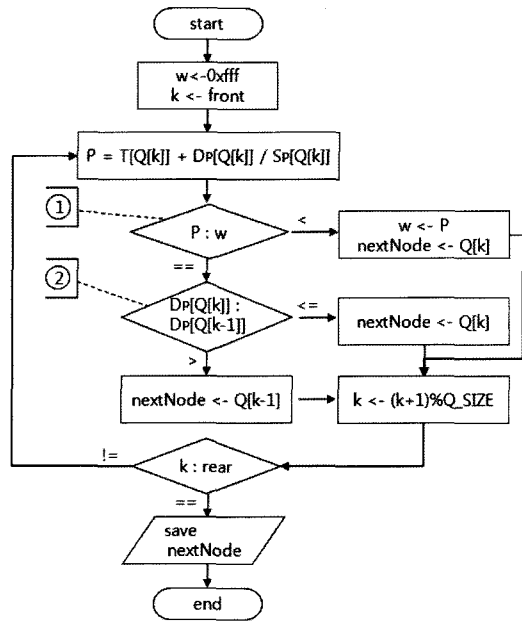


그림 6 DWEDF 우선순위 결정루틴

저장된 센서 노드로부터 데이터를 전송받는다.

그림 7은 그림 6의 우선순위 결정루틴을 이용하여 모바일 싱크의 통신 범위안에 두 개의 센서 노드만이 존재할 때 데이터수신 순서를 나타낸 것이다. 단계 1에서 N_1 센서 노드는 D_p 만큼의 데이터 전송과 시간 T(3)가 남아있고 N_2 센서 노드는 전송 데이터는 없고 시간 T(4)가 남아있다. N_1 센서 노드의 우선순위값은 D_p 의 전송시간 1과 T(3)시간을 합하여 4의 값을 가지게 되고 N_2 센서 노드는 T(4)의 값을 가지게 된다. N_1 과 N_2 센서 노드의 우선순위가 4로 같기 때문에 그림 6의 ①번 루틴에 의해 모바일 싱크에게 전송한 데이터양이 적은 N_2 센서 노드에게 우선순위가 할당된다. 단계 2에서 N_1 센서 노드는 D_p 의 전송시간 1과 T(2)시간이 합하여진 3의 우선순위를 가지며 N_2 센서노드는 D_p 의 전송시간 1과 T(3)시간을 합한 4의 값을 가진다. 따라서 3의 값을 가지는 N_1 노드에게 우선순위가 할당된다. 단계 3에서는 다시 N_1 과 N_2 센서 노드는 우선순위 값이 각각 3으로 같아져 N_2 센서 노드에게 우선순위가 할당된다. 최종 단계 4에서 N_1 과 N_2 는 각각 동등한 2(D_p)의 데이터를 모바일 싱크로 전송할 수 있게 된다.

4.3 스케줄링 기법 비교 분석

본 논문에서 제안하는 DWEDF를 평가하기 위해 아래와 같이 6개의 스케줄링 기법을 비교 분석하였다. 그림 8은 6개의 스케줄링을 비교 분석하기 위한 모바일 싱크와 센서 노드의 배치모델이다. 하나의 모바일 싱크와 12개의 센서 노드를 6개, 4개, 2개의 순서로 배치하

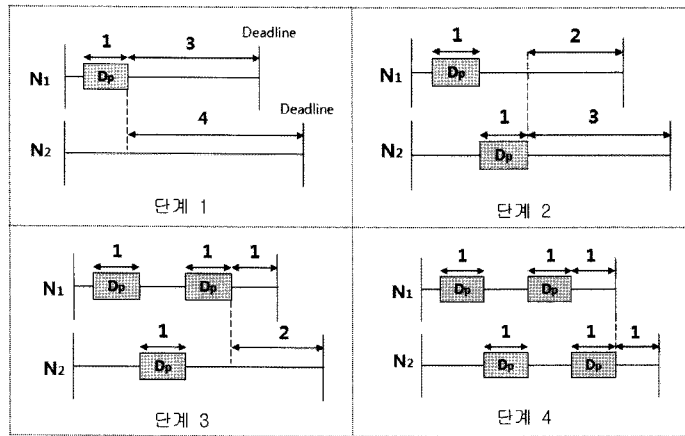


그림 7 DWEDF 스케줄링의 데이터 수신 순서

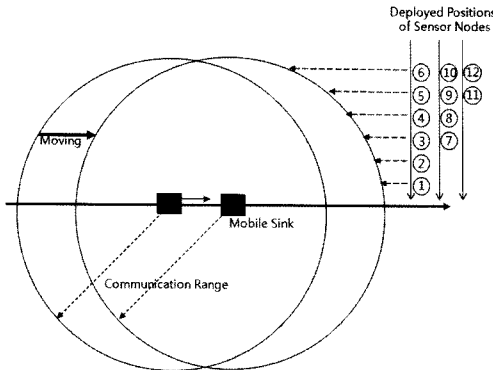


그림 8 모바일 싱크와 센서 노드 배치 모델

였다. 모바일 싱크의 이동에 따라 각 센서 노드는 1, 2, 3, 4, 7, 5, 8, 6, 9, 10, 11, 12의 순서로 모바일 싱크의 통신범위 안으로 들어오게 된다. 그림 9는 그림 8의 배치 모델에서 각각 FCFS, EDF, WFQ(T), WFQ(D), PBRR, DWEDF 스케줄링의 데이터수신 순서를 나타낸 것이다. FCFS와 EDF는 센서 노드 단위 스케줄링 기법이고 WFQ(T), WFQ(D), PBRR, DWEDF는 패킷 단위 스케줄링 기법이다.

4.3.1 센서 노드 단위 스케줄링

•FCFS(First Come First Serve)

FCFS는 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안으로 접근한 순서대로 우선순위를 할당하는 스케줄링 방식으로 각 센서 노드는 한번의 데이터 전송 주기에 자신이 전송해야하는 전체 데이터를 전송한다. 그림 9의 (a)와 같이 모바일 싱크의 통신 범위 안으로 들어온 순서인 1, 2, 3의 순서로 데이터를 전송하는 것을 볼 수 있다. 3번 센서 노드 다음으로 4번 센서 노드가 데이터를 전송해야 하지만 이미 통신 범위 밖으로 벗어났기 때문에

그 다음 순서인 7번 센서 노드가 데이터를 전송하는 것을 볼 수 있다. 7번 센서 노드가 통신 범위 밖으로 벗어났을 때 통신 범위 안에 1번 센서 노드가 아직 통신 범위 안에 있는 것을 볼 수 있다. 하지만 1번 센서 노드는 이전에 자신이 전송해야 하는 전체 데이터를 전송했기 때문에 더 이상 데이터를 전송하지 않는다. 이 처럼 FCFS는 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드는 데이터를 전송하지 못하고 몇몇 센서 노드에 치중된 데이터 수집을 보이는 문제가 있다.

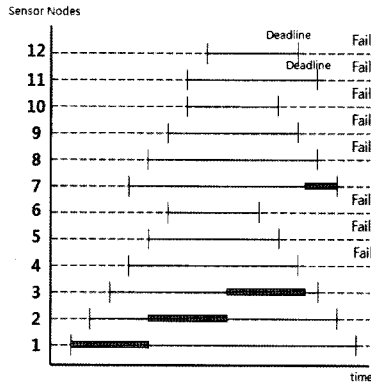
•EDF(Earliest Deadline First)

EDF는 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 내에 머무를 수 있는 시간이 짧은 센서 노드부터 데이터를 수신한다. FCFS와 같이 EDF는 한번의 데이터 전송 주기에 자신이 전송해야하는 데이터를 모두 전송한다. 그림 9의 (b)와 같이 EDF는 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드부터 데이터를 수신한다. 그렇기 때문에 1번 센서 노드의 전송이 완료된 후 가장 짧은 시간을 가지는 5번 센서 노드로 전송 기회가 부여되는 것을 볼 수 있다. 하지만 노드 단위 스케줄링 주기로 인해 1번과 5번 센서 노드에게서 많은 데이터를 수집하고 7, 8, 9, 11, 12번의 5개 센서 노드들로부터 전혀 데이터를 수신하지 못한다. 이것은 균등한 데이터 전송기회를 부여한다고 볼 수 없다.

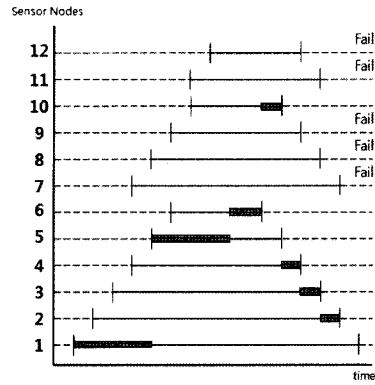
4.3.2 패킷 단위 스케줄링

•WFQ(Weighted Fair Queuing)(T)

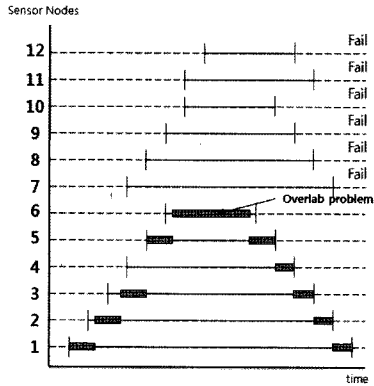
WFQ(T)는 모바일 싱크의 통신 범위안에 머무르는 시간을 가중치로 적용한 WFQ스케줄링으로 그 시간이 짧은 센서노드를 우선시 한다. WFQ(T)는 센서노드로부터 일정양의 데이터를 수신하면 재스케줄링 한다. 그림 9의 (c)와 같이 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간이 짧은 1, 2, 3, 5, 6의 순서로 데이터를 수신한다.



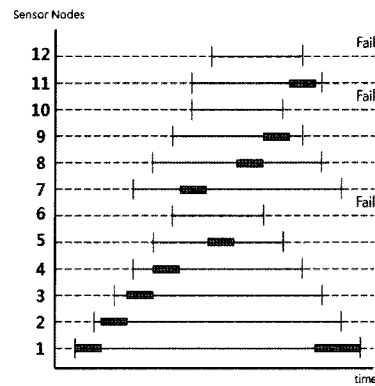
(a) FCFS



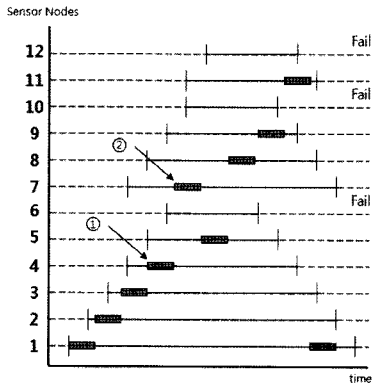
(b) EDF



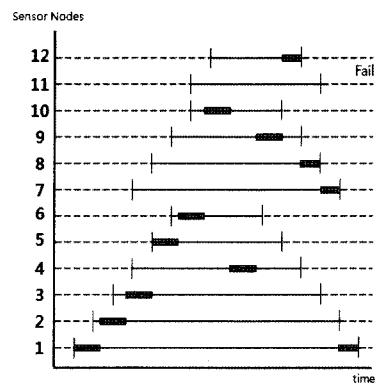
(c) WFQ(T)



(d) WFQ(D)



(e) PBRR



(f) DWEDF

그림 9 각 스케줄링 데이터 수신 시나리오

하지만 6번 센서 노드에게서 중복적으로 데이터 전송이 일어나게 되는데 이것은 모바일 싱크에 머무르는 시간으로 우선순위를 결정하기 때문에 가장 짧은 시간을 가지는 6번 센서 노드로부터 중복적으로 데이터를 수신하게 된다. 반면 7번부터 12번 센서 노드는 전혀 데이터를 전송하지 못한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 스

케줄링의 우선순위 선정 시 각 센서 노드가 모바일 싱크로 전송한 데이터를 가중치로 적용해야 한다.

• WFQ(Weighted Fair Queuing)(D)

WFQ(D)는 센서 노드로부터 수신한 데이터양을 가중치로 적용한 WFQ스케줄링이다. WFQ(D)는 모바일 싱크로 전송한 데이터양이 적은 센서 노드로부터 전송기회

를 부여한다. 모바일 싱크의 통신범위에 머무르는 시간을 고려하지 않기 때문에 그 시간이 짧은 센서 노드는 데이터를 전송하지 못하는 문제가 발생한다. 그림 9의 (d)는 WFQ(D)를 나타낸 것이다. 그림과 같이 센서 노드는 1, 2, 3, 4, 7, 5, 8, 6, 9의 순서로 모바일 싱크의 통신 범위 안에 들어오게 된다. 따라서, 4, 7, 5, 8 센서 노드가 6번 센서 노드보다 먼저 데이터를 전송하게 된다. 결국 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간이 가장 짧은 6번 센서 노드는 4, 7, 5, 8 센서 노드의 데이터 전송 시간동안 모바일 싱크의 통신 범위 밖으로 벗어나게 된다. 이와 같은 이유로 시간이 짧은 10, 12번 센서 노드 역시 데이터를 전송하지 못한다.

•PBRR(Packet Based Round Robin)

PBRR은 패킷 단위의 스케줄링이고 큐에 저장된 센서노드들로부터 순차적으로 데이터를 수신한다. 그림 9의 (e)와 같이 모바일 싱크에 접근한 순서인 1, 2, 3, 4, 7, 5, 8, 6, 9의 순으로 데이터를 수신하는 것을 볼 수 있다. 이러한 순차적 스케줄링 때문에 상대적으로 모바일 싱크의 통신범위에 머무르는 시간이 짧은 6번 센서 노드는 데이터 전송 기회를 부여 받지 못하는 것을 볼 수 있다. 그림에 표시된 ①에서 ②로 스케줄링을 넘기는 것 보다 ①에서 6번 센서 노드로 스케줄링을 하는 것이 더 효율적인 것이다. 즉 PBRR은 모바일 싱크의 통신범위에 머무르는 시간이 짧은 센서노드에게는 전송기회를 부여하지 못하는 문제점이 있다.

•DWEDF(Data Weight based Earliest Deadline First)

DWEDF는 본 논문에서 제안하는 스케줄링 기법으로 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간과 모바일 싱크로 전송한 데이터양을 가중치로 적용한 스케줄링이다. 센서 노드로부터 일정량의 패킷을 수신했을 때 재스케줄링을 한다. 그림 9의 (f)와 같이 DWEDF는 일정량의 데이터를 수신할 때 재스케줄링을 하므로 EDF나 FCFS처럼 몇몇 센서 노드에게 치중되어 데이터를 전송 받지 않는다. 또한 WFQ(T)와 같이 중복된 데이터 전송 문제는 수신 데이터를 가중치로 적용했기 때문에 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. DWEDF는 11번 센서 노드 단 하나에서 데이터를 수신하지 못하였을 뿐 다른 모든 노드에게 데이터 전송기회를 부여하고 있다. 그리고 그 전송 데이터 양 역시 서로 비슷하게 균형을 이룬다.

5. 성능 평가

5.1 실험 환경

제안하는 DWEDF 기법을 평가하기 위해 센서 네트워크를 위한 컴포넌트 기반 운영체제인 TinyOS와 시뮬

레이터인 TOSSIM, Tinyviz를 이용하여 실험하였다 [14]. 또한 모바일 싱크의 움직임 제어를 위해 Tython을 사용하였다. Tython은 TOSSIM을 위한 Java와 Python으로 구성된 스크립트 언어로 TOSSIM과 연동하여 센서 노드를 움직이거나 노드에게 패킷을 전송하는 등 다양한 기능을 제공해 준다[15].

실험 환경은 그림 10과 같이 랜덤하게 배치한 50개의 센서 노드와 1개의 모바일 싱크로 구성된다. 표 1과 같이 모바일 싱크의 이동속도는 초당 1 pixel 이고 통신범위는 15 pixel이다. 각 센서 노드 당 전송해야 할 총 패킷수는 100패킷이고 초당 40패킷의 전송률로 데이터를 전송한다. 패킷 단위 스케줄링시 한 주기에 전송하는 패킷 수는 20패킷이다. 센서 노드는 (25, 11)에서 (71, 38) 사이에 분포하고 모바일 싱크는 (5, 25)에서 (87.5, 25) 위치로 82.5 pixel을 이동하며 센서 노드로부터 데이터를 전송 받는다.

표 1 파라미터 테이블

파라미터	값
모바일 싱크의 속도	1 pixel/sec
모바일 싱크의 통신범위	15 pixel
센서 노드 수	50
노드당 전송할 패킷 수	100 packets
패킷단위 스케줄링시 한 주기의 전송 패킷 수	20 packets
센서노드의 데이터 전송률	40 packets/sec

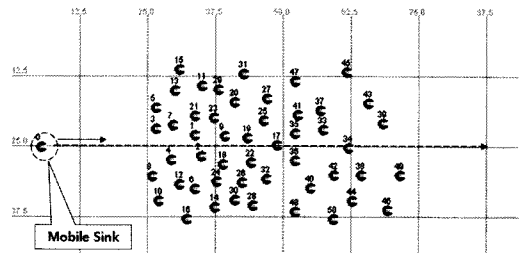


그림 10 모바일 싱크와 센서 노드 배치도

5.2 실험 결과 및 분석

구축된 실험 환경에서 FCFS, EDF, WFQ(T), WFQ(D), PBRR, DWEDF 스케줄링의 성능을 측정하였다. 각 스케줄링 기법에 따른 데이터 수집 특성을 알아보기 위해 센서 노드별로 수신한 패킷수와 총 수신 패킷수를 측정하였다. 또한 모바일 싱크의 균등한 데이터 수집 여부를 측정하기 위해 Fairness Index를 측정하였다.

5.2.1 센서 노드별 수신 패킷수

그림 11은 스케줄링 기법에 따른 센서 노드별 수신 패킷 수를 나타낸 것이다. FCFS나 EDF 스케줄링 기법은 스케줄링 주기가 노드 단위이기 때문에 센서 노드에

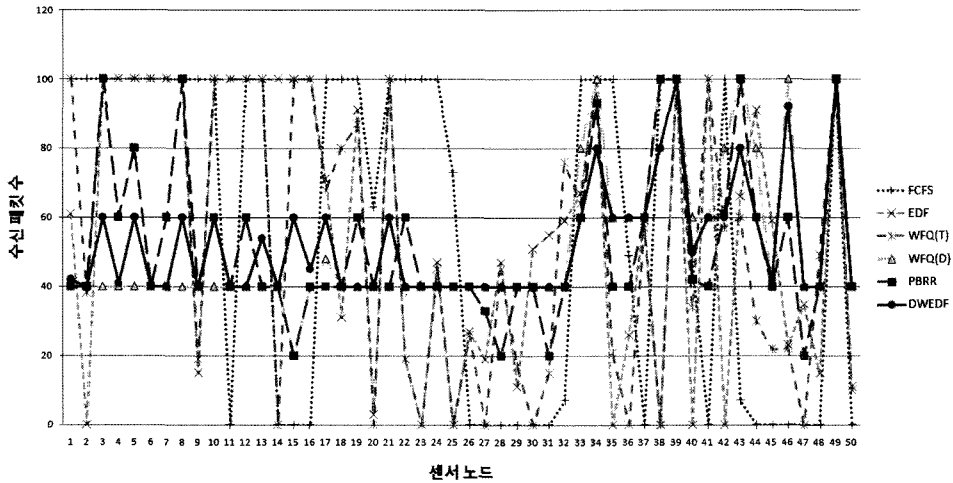


그림 11 센서 노드별 수신 패킷 수

따라 매우 불균등하게 데이터를 수신하는 것을 볼 수 있다. 그림 11에서 FCFS와 EDF에서 데이터를 전송하지 못한 센서 노드의 수는 각각 18, 7개로 전혀 데이터가 균등하게 수집되지 않았음을 알 수 있다. 이는 데이터를 전송하는 센서 노드가 한번의 스케줄링 주기 동안 자신이 전송해야 하는 전체 패킷(100packets)을 전송하기 때문에 주어진 시간동안 패킷을 전송하지 못하고 모바일 싱크의 통신범위 밖으로 벗어나는 센서 노드들이 발생하기 때문이다.

WFQ(T)는 패킷단위로 스케줄링을 수행함에도 불구하고 FCFS나 EDF처럼 매우 불균등한 데이터 전송을 보이고 있다. WFQ(T) 역시 패킷을 전송하지 못한 센서 노드 수가 9개가 존재한다. 이것은 WFQ(T) 스케줄링이 모바일 싱크의 통신범위안에 머무르는 시간을 가중치로 사용하기 때문이다. 즉 가장 짧은 시간을 가지는 센서 노드에게서 중복적으로 데이터를 수신하기 때문이다. WFQ(D)와 PBRR은 FCFS나 EDF, WFQ(T)처럼 극심한 불균형을 보이지 않고 각 센서 노드마다 20패킷 이상의 데이터 전송을 보이고 있다. 하지만 WFQ(D)는 그림 11의 15번 센서노드와 같이 나머지 센서 노드들에 비해 적은 데이터를 전송한 센서 노드가 존재하게 된다. 평균적으로 40패킷 이상의 데이터를 전송하는데 15번 센서 노드만 20패킷의 데이터를 전송하였다. 이러한 노드가 발생하는 이유는 WFQ(D)는 단순히 센서 노드로부터 수신한 데이터가 적은 센서 노드를 우선시하기 때문에 모바일 싱크의 이동 경로로 부터 먼 곳에 존재하는(모바일 싱크에 머무르는 시간이 짧은 센서노드)센서 노드는 그 만큼 데이터를 전송할 수 있는 기회가 적어지기 때문이다.

PBRR은 단순히 큐에 대기 중인 센서 노드들을 순서

대로 돌아가며 데이터를 전송받기 때문에 모바일 싱크의 통신 범위안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드는 그 만큼 패킷을 전송할 수 있는 기회가 적어지고(그림 11의 15, 28, 31번 센서 노드) 이전에 전송한 데이터 등을 가중치로 사용하지 않기 때문에 많은 패킷을 전송한 센서 노드가 다시 패킷을 전송할 수 있는 문제가 발생한다(그림 11의 37, 38, 43, 49번 센서 노드).

DWEDF는 전체 센서 노드로 부터 40패킷 이상의 데이터 전송을 보이고 있다. 또한 평균적으로 다른 센서 노드에 비해 많은 패킷(100패킷)을 전송한 센서 노드는 2개 밖에 존재하지 않는다. 이러한 결과는 DWEDF가 센서 노드로부터 균등한 데이터를 수집할 수 있음을 보여준다.

5.2.2 총 수신 패킷수

모바일 싱크가 센서 노드로부터 데이터를 전송 받기 위해서는 우선 데이터 전송 요청 메시지를 센서 노드로 전송해야 한다. 이러한 전송 요청 메시지가 많아지면 센서 노드가 모바일 싱크로 데이터를 전송할 수 있는 시간이 그만큼 줄어들게 된다. 또한 전송 요청 메시지가 많다는 것은 그만큼 재스케줄링을 많이 한다는 것을 말한다. 재스케줄링을 하는 동안 모바일 싱크는 센서 노드로부터 아무런 데이터를 수신하지 않기 때문에 빈번한 재스케줄링은 그 만큼 센서 노드가 모바일 싱크로 데이터를 전송할 수 있는 시간을 줄어들게 한다. 따라서, 최소한의 재스케줄링으로 균등한 데이터 수집을 보장할 수 있어야 한다.

그림 12는 각 스케줄링 기법에 따라 총 수신 패킷 수를 측정된 것이다. FCFS나 EDF는 노드 단위의 스케줄링으로 패킷단위의 스케줄링인 WFQ(T), WFQ(D), PBRR, DWEDF에 비해 재스케줄링이 빈번하게 일어나

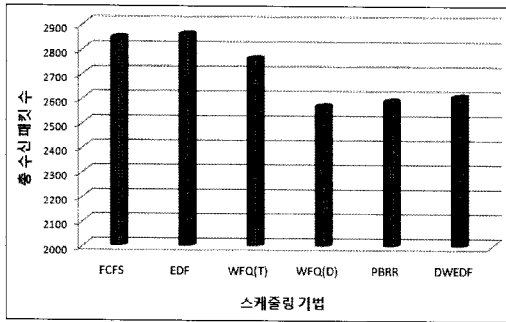


그림 12 스케줄링 기법 별 총 수신 패킷 수

지 않기 때문에 약 2800이상의 패킷을 수신하는 것을 알 수 있다. WFQ(T)는 패킷 단위 스케줄링이지만 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드들부터 중복적으로 데이터를 수신하는 이유로 2700패킷 이상의 데이터를 수신한다. 하지만 FCFS나 EDF, WFQ(T)는 그림 11과 같이 전혀 데이터를 전송하지 못한 센서 노드가 다수 존재하는 문제 때문에 적은 재스케줄링으로 균등성을 보장할 수 있다고 말할 수 없다.

WFQ(D)와 PBRR, DWEDF는 빈번한 재스케줄링으로 총 수신 패킷 수가 FCFS나 EDF, WFQ(T)에 비해 적다. 하지만 그림 12와 같이 DWEDF는 PBRR과 WFQ(D)에 비해 더 많은 패킷을 수신한 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 DWEDF가 PBRR과 WFQ(D)에 비해 더 적은 재스케줄링으로 균등한 데이터 수집을 보장한다는 것을 알 수 있다.

5.2.3 Fairness Index

제안하는 DWEDF의 균등한 데이터 수집 정도를 측정하기 위해 식 (2)의 Fairness Index를 사용하였다. x_i 는 각 센서 노드가 모바일 싱크로 전송한 패킷의 수이고 n 은 전체 센서 노드의 수이다.

$$\text{Fairness Index} = \frac{(\sum x_i)^2}{n \sum x_i^2} \quad (2)$$

그림 13의 Fairness Index는 전체 센서 노드로부터 수신한 총 데이터양이 많고 균등한 전송을 보일수록 그 값이 높게 나타난다. 그림 13에서 FCFS나 EDF, WFQ(T)는 각각 0.56, 0.65, 0.63으로 WFQ(D), PBRR, DWEDF 등의 스케줄링 기법에 비해 현저히 낮은 Fairness Index를 보이고 있다. 이러한 결과는 그림 12와 같이 FCFS와 EDF, WFQ(T)의 총 수신 패킷 수는 높게 나타나지만 그림 11과 같이 몇몇 센서 노드에서는 100%의 패킷을, 몇몇 센서 노드로 부터는 0%의 패킷을 수신했기 때문이다. 한편 WFQ(D)와 PBRR은 Fairness Index가 DWEDF에 비해 약 0.1(10%)가량 낮게 나타나

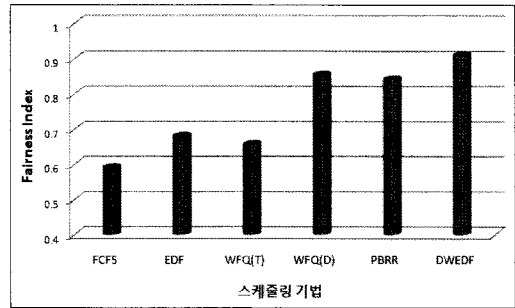


그림 13 스케줄링 기법 별 Fairness Index

고 있다. 그림 13의 결과는 본 논문에서 제안하는 DWEDF가 다른 데이터 스케줄링 기법들 보다 균등한 데이터 수집을 나타내는 것을 보여준다.

6. 결론 및 향후 계획

최근 이동통신 및 하드웨어 기술 발전에 힘입어 센서 노드의 성능은 향상되고 그 크기는 작아지고 있다. 이러한 센서 노드를 이용하여 다양한 환경의 정보를 수집하는 연구가 활발히 진행 중이다. 기존 센서 네트워크는 센싱 데이터를 수집하기 위하여 고정된 싱크를 사용한다. 고정 싱크를 사용한 센서 네트워크는 싱크주변의 에너지소모가 많아 전체 센서 네트워크의 수명을 짧아지게 만드는 문제점이 있다. 고정 싱크를 사용한 센서 네트워크의 수명을 증가시키기 위해 최근 모바일 싱크를 이용한 데이터 수집 방법이 크게 증가하고 있다. 모바일 싱크는 싱크주변 노드가 계속해서 변화되기 때문에 싱크주변 센서 노드의 에너지 소모를 분산시켜 전체 센서 네트워크의 수명을 증가시킨다.

모바일 싱크를 사용한 센서 네트워크에서는 각 센서 노드로부터 균등한 데이터를 수집하는 것이 중요하다. 만약 균등한 데이터 수집을 하지 않아 일정 지역의 센서 노드로부터 데이터를 수신하지 못한다면 그 지역의 정보를 얻지 못하는 문제점이 생긴다. 본 논문에서는 균등한 데이터 수집을 위해서 각 센서 노드로부터 수신된 데이터량에 대한 가중치를 기반으로 한 DWEDF 스케줄링을 제안하였다. DWEDF와 성능비교를 위하여 기존 실시간 스케줄링에서 사용되는 EDF 기법 이외 5개의 스케줄링 기법들과 성능평가를 수행하였다.

실험 결과 FCFS와 EDF는 특정 몇몇 센서 노드에게 많은 데이터를 받는 데이터 집중현상이 발생하였다. 이것은 한번의 스케줄링 주기에 센서 노드가 전송해야 하는 모든 데이터를 전송하기 때문이다. PBRR은 FCFS나 EDF처럼 몇몇 센서 노드에서만 데이터를 수집하는 문제는 발생하지 않았지만 데이터를 순차적으로만 전송받아 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간이

짧은 센서 노드는 데이터를 전송하지 못하는 문제가 있었다. WFQ(T)는 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드에게서 중복적으로 데이터를 전송 받는 문제점이 있었다. 또한 WFQ(D)는 모바일 싱크에 머무르는 시간을 적용하지 않아 그 시간이 짧은 센서 노드로부터 데이터를 전송받지 못하는 문제점이 있었다.

본 논문에서 제안한 DWEDF 스케줄링 기법은 FCFS나 EDF처럼 데이터 집중현상이나 WFQ(T)에서 발생하는 데이터 중복현상이 발생하지 않았다. 또한 PBRR과 WFQ(D)와 같이 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드에게 전송기회를 부여하지 못하는 문제도 없었다. 실험 결과 DWEDF는 다른 스케줄링 기법에 비해 전체 센서 노드에서 균등한 데이터 수집을 보였다. 이것은 각 센서 노드가 전송한 데이터양을 고려하여 전체 센서 노드에게 고른 전송 기회를 부여하였기 때문이다.

향후에는 각 노드별 전송 데이터양, 모바일 싱크의 이동경로, 속도 등이 변화될 때와 싱크와 센서 노드 간 통신여러를 고려한 적응적 스케줄링에 대해 연구할 계획이다. 또한 멀티 홉 센서 네트워크에서의 균등한 데이터 수집을 위한 스케줄링 기법을 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] H. Karl and A. Willing, "A short survey of wireless sensor networks," TKN Technical Report TKN-03-18, October 2003.
- [2] N. Xu, S. Rangwala, K. Chintalapudi, D. Ganesan, A. Broad, R. Govindan and D. Estrin, "A Wireless Sensor Network for Structural Monitoring," In Proceedings. The ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, November 2004.
- [3] A. Basharat, N. Catbas and M. Shah, "A Framework for Intelligent Sensor Network With Video Camera for Structural Health Monitoring of Bridges," In Proceedings. The Third IEEE International Conference, March 2005.
- [4] S. Subramanian and S. Shakkottai, "Geographic Routing with Limited Information in Sensor Networks," Fourth International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN '05), April 2005.
- [5] D. Sharma, V. Zadorozhny and P. K. Chrysanthis, "Timely Data Delivery in Sensor Networks Using Whirlpool," Second International VLDB Workshop on Data Management for Sensor Networks (DMSN 2005), August 2005.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] G. C. Buttazzo, "Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications," Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [9] A. K. Parekh and R. G. Gallager, "A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in integrated services networks: The single node case," IEEE/ACM Transactions on Networking, June 1993.
- [10] A. Demers, S. Keshav and S. Shenker, "Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm," ACM SIGCOMM, September 1989.
- [11] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu and L. Zhang, "ATwo-Tier Data Dissemination Model for Largescale Wireless Sensor Networks," ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'02), 2002.
- [12] 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.
- [13] A. Somasundara, A. Ramamoorthy and M. Srivastava, "Mobile element scheduling for efficient data collection in wireless sensornetworks with dynamic deadlines," The 25th IEEE International Real-Time Systems Symposium (RTSS), 2004.
- [14] P. Levis, N. Lee, M. Welsh and D. Culler, "Tossim: accurate and scalable simulation of entire tinyos applications," In Proceedings. The first international conference on Embedded networked sensor systems, 2003.
- [15] M. Demmer and P. Levis, "Tython scripting for TOSSIM," Network Embedded Systems Technology Winter, 2004.



조 영 태

2000년~2007년 강원대학교 정보통신공학과 학사. 2007년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 멀티미디어 시스템, 센서네트워크



박 충 명

1998년~2005년 강원대학교 정보통신공학과 학사. 2005년~2007년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사. 2007년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정. 관심분야는 멀티미디어 시스템, 센서네트워크



이 좌 형

1994년~2003년 강원대학교 정보통신공학과 학사. 2003년~2005년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사. 2005년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정. 관심분야는 멀티미디어 시스템, 센서네트워크



정 인 범

1985년 고려대학교 전자공학과 학사
1985년~1995년 (주) 삼성전자 컴퓨터 시스템사업부 선임 연구원. 1992년~1994년 한국과학기술원 정보통신공학과 석사
1995년~2000년 8월 한국과학기술원 전산학과 박사. 2001년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학 전공 교수. 관심분야는 운영체제, 소프트웨어 공학, 멀티미디어 시스템, 센서네트워크