

# 모바일 싱크를 위한 균등 큐잉(FQMS): 모바일 싱크 기반 무선 센서 네트워크에서 균등한 데이터 수집을 위한 스케줄링 기법

[Fair Queuing for Mobile Sink (FQMS):  
Scheduling Scheme for Fair Data Collection  
in Wireless Sensor Networks with Mobile Sink]

조 영 태 †                      박 총 명 †                      이 좌 형 †  
(YoungTae Jo)                      (ChongMyung Park)                      (JoaHyoun Lee)

서 동 만 ††                      임 동 선 †††                      정 인 범 ††††  
(DongMahn Seo)                      (DongSun Lim)                      (InBum Jung)

**요 약** 고정 싱크를 사용한 센서 네트워크는 싱크 주변 센서 노드에게 많은 부하를 초래하게 되고 이러한 부하는 센서 노드의 배터리 소모로 이어지게 된다. 싱크 주변 센서 노드의 배터리 소모는 전체 센서 네트워크의 수명을 단축시키는 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 모바일 싱크를 사용하여 싱크 주변 노드의 부하를 분산시키는 연구가 활발히 진행되고 있다. 모바일 싱크는 움직이는 특성을 가지고 있기 때문에 센서 노드와 통신 가능한 시간이 제한된다. 또한 통신 중에도 모바일 싱크와 센서 노드 간 거리가 연속적으로 변하기 때문에 통신 환경 역시 변하게 된다. 모바일 싱크를 사용한 센서 네트워크는 이러한 제약 사항을 해결하며 각 센서 노드들로부터 균등한 양의 데이터를 수집할 수 있어야 한다. 균등치 못한 데이터 수집은 실시간적 센서 네트워크 응용분야에서 긴급한 사건 처리를 가능하지 않게 한다. 본 논문에서는 모바일 싱크를 이용한 센서 네트워크에서 센서 노드들로부터 균등한 데이터 수집을 위한 스케줄링 기법인 FQMS를 제안한다. FQMS는 모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 환경과 시간 제약을 고려하여 균등한 데이터 수집을 보장한다. 실험을 통해 제안된 FQMS와 기존의 스케줄링 기법들의 성능을 비교 평가한다. 실험 결과를 통해 제안된 기법이 무선 센서 노드들로부터 데이터 수집에 있어서 가장 균등한 데이터 수집을 수행함을 보인다.

**키워드**: 모바일 싱크, 무선 센서 네트워크, 통신 에러율, FQMS

**Abstract** Since Sensor nodes around a fixed sink have huge concentrated network traffic, the battery consumption of them is increased extremely. Therefore the lifetime of sensor networks is limited because of huge battery consumption. To address this problem, a mobile sink has been studied for load distribution among sensor nodes. Since a mobile sink changes its location in sensor networks continuously, the mobile sink has time limits to communicate with each sensor node and unstable signal strength from each sensor node. Therefore, a fair and stable data collection method between a mobile sink and sensor nodes is necessary in this environment. When some sensor nodes are not able

† 학생회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과  
ytjoe@snslab.kangwon.ac.kr  
cmpark@snslab.kangwon.ac.kr  
jhlee@snslab.kangwon.ac.kr  
†† 정 회 원 : 한국과학기술연구원 영상미디어센터  
sarum@imrc.kist.re.kr  
††† 정 회 원 : 한국전자통신연구원 자동차/조선 IT 융합연구부 부장  
dslim@etri.re.kr  
†††† 정 회 원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수  
ihjung@snslab.kangwon.ac.kr

논문접수 : 2009년 3월 31일  
심사완료 : 2010년 2월 9일

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.

정보과학회논문지: 정보통신 제37권 제3호(2010.6)

to send data to the mobile sink, a real-time application in sensor networks cannot be provided. In this paper, the new scheduling method, FQMS (Fair Queuing for Mobile Sink), is proposed for fair and stable data collection for mobile sinks in sensor networks. The FQMS guarantees balanced data collecting between sensor nodes for a mobile sink. In out experiments, the FQMS receives more packets from sensor nodes than legacy scheduling methods and provides fair data collection, because moving speed of a mobile sink, distance between a mobile sink and sensor nodes and the number of sensor nodes are considered.

**Key words** : mobile sink, wireless sensor network, communication error-rate, FQMS

### 1. 서론

최근 MEMS와 마이크로프로세서 그리고 무선 통신 기술의 발전으로 센서 노드들을 이용하여 넓은 지역에 걸쳐 정확한 정보를 얻고자 하는 센서 네트워크가 널리 보급되기 시작했다[1]. 이러한 센서 네트워크를 이용하여 일상 환경이나 사람이 살지 않는 특정 환경 등에서 다양한 정보 수집이 가능하다. 최근 센서 네트워크를 이용한 환경 모니터링이나 정보 수집에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[2-4]. 센서 네트워크는 기본적으로 센서 노드들로부터 측정된 데이터를 모으는 싱크가 하나 이상 존재한다. 이러한 환경에서 센서 노드들로부터 센싱 정보를 싱크로 전송하는 방법에 대한 연구가 중요하다.

기존 센서 네트워크는 고정 싱크를 위한 라우팅 기법이 연구되었다. 하지만 고정 싱크를 사용한 센서 네트워크는 싱크 주변 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[5,6].

그림 1의 (b)와 같이 모바일 싱크는 각 센서 노드로부터 데이터를 수집하는 싱크가 이동하는 것으로 센서 네트워크 전체를 이동하며 각 센서 노드들로부터 데이터를 수집하는 노드를 말한다. 모바일 싱크는 이동 중 각 센서 노드로부터 균등한 데이터를 수집해야 한다. 몇몇 센서 노드로부터는 많은 데이터를 수신하고 몇몇 센서 노드로 부터는 데이터를 수신하지 않는다면 해당 센서가 위치한 지역의 정보는 얻을 수 없고 센서 네트워크를 이용한 환경 모니터링과 같은 어플리케이션에서는 큰 문제로 작용할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 모든 센서 노드들로부터 균등한 데이터를 수집하기 위한 스케줄링이 필요하다.

모바일 싱크를 사용한 데이터 수집은 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간이 제한되어 있고 센서 노드의 위치에 따라 모바일 싱크와 통신 가능한 최대 시간도 모두 다르다. 또한 모바일 싱크가 연속적으로 이동하기 때문에 센서 노드와 모바일 싱크 간 통신 에러율도 시시각각으로 변한다. 통신 에러율이 높고 모바일 싱크와 통신 가능한 시간이 짧은 센서 노드는 높은 우선순위와 긴 시간을 할당하여 데이터를 수신해야 할 것이다. 반면 모바일 싱크와 가까워 에러율이 낮

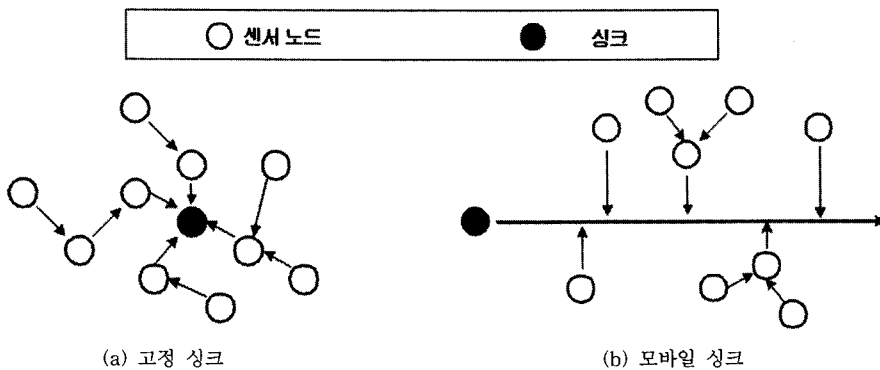


그림 1 센서네트워크 구성도

고 모바일 싱크와 통신 가능한 시간이 긴 센서 노드는 짧은 시간 동안만 데이터를 수신해도 될 것이다. 본 논문에서는 이러한 모바일 싱크의 동적인 환경을 고려하여 균등한 데이터 수집을 할 수 있는 FQMS(Fair Queuing for Mobile Sink)를 제안한다. FQMS는 모바일 싱크로부터 거리가 멀어 어려움이 높은 센서 노드를 고려하여 우선순위 선정에 반영하고 동적으로 시간할당을 한다. 또한 센서 노드로부터 이전에 전송된 데이터를 가중치로 적용하여 중복전송을 방지하여 균등한 데이터 수집을 보장한다.

FQMS의 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 FQMS의 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 모델에 대해 설명한다. 4장에서는 모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 특징에 대해 알아보고 5장에서는 본 논문에서 제안하는 균등한 데이터 수집을 위한 스케줄링 기법인 FQMS에 대해 설명한다. 6장에서는 FQMS의 모의실험과 성능평가를 기술하고 7장에서는 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[7]. 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[8]. 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 패킷 사

이즈의 전송에는 균등성이 보장되지만 다양한 패킷 사이즈의 전송에는 큐들간의 데이터 처리에 대한 균등성 보장이 힘들다.

### 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[9,10].

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[11]. 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 경우보다 전체 데이터 수집 시간을 단축시킬 수 있다. 이는 일정한 조건하에서 빠른 데이터 수집을 해야 하는 시스템에서는 보다 효율적 데이터 수집이 가능하게 한다.

[10]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 센서 노드로부터 모든 데이터를 수신하기 위한 센서 노드의 RF 라디오 범위를 제시하였다. 이 연구에서는 하나의 센서 노드가 가지고 있는 모든 데이터를 수신하는 것이 중요하며 데이터를 모두 수신하지 못하고 범위 밖으로 밀려나는 것은 데이터가 손실되는 것으로 간주하고 있다. 하지만 이럴 경우 일부의 노드로부터는 데이터를 전혀 수신하지 못하는 문제점이 발생하여 노드에서의 센싱 작업이 무의미해지는 결과를 초래할 수 있다. 또한 모바일 싱크의 통신범위에 있는 노드

들 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 통신 범위에 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.

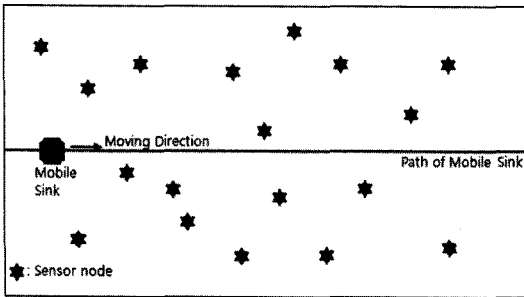


그림 2 센서 네트워크 배치 모델

#### 3.2 모바일 싱크의 이동모델

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

본 논문에서 제안하는 FQMS는 모든 센서 노드에게 균등한 데이터 전송 기회를 부여하여 균등한 부하가 각 센서 노드에게 주어지고 결과적으로 균등한 에너지 소모를 이루어 전체 센서 네트워크의 수명연장을 목표로 한다. 기존의 방식대로 멀티 홉 통신을 통해 모바일 싱

크로 데이터가 전송된다면 모바일 싱크의 이동경로 주변의 센서 노드들은 기존 고정 싱크 센서 네트워크처럼 주변 센서 노드에 비해 심한 과부하가 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서 모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 모델은 다음과 같은 특징을 가진다.

- 모바일 싱크의 이동경로 상에 존재하는 모든 센서 노드는 모바일 싱크의 통신범위 안에 들 수 있다.
- 모바일 싱크와 센서 노드는 싱글 홉으로 통신한다.

## 4. 모바일 싱크

### 4.1 모바일 싱크의 통신 특성

모바일 싱크는 연속적으로 이동하므로 고정 싱크를 사용한 센서 네트워크 보다 다양한 특성을 가진다. 고정 싱크를 사용한 센서 네트워크에는 싱크 주변 센서 노드와 통신할 수 있는 시간이 제한되어 있지 않다. 하지만 모바일 싱크는 각각의 센서 노드와 통신할 수 있는 시간이 제한되어 있다. 또한 모바일 싱크의 이동에 의해 센서 노드와의 통신 거리가 시시각각 변하게 되고 이러한 통신 거리의 변화는 통신 에러율 및 패킷 수신율의 변화를 가져오는 특징이 있다.

#### 4.1.1 제한된 통신 시간

그림 3은 모바일 싱크와 센서 노드 A, B의 관계를 나타낸 그림이다. 그림과 같이 모바일 싱크는 제한된 통신범위를 가지고 있다. 따라서 센서 노드 A와 B는 모바일 싱크의 통신범위 안으로 접근하는 시점인 IN과 통신범위 밖으로 벗어나는 시점인 OUT 사이에서만 통신이 가능하다. 그 외의 시점에서는 모바일 싱크의 통신범위가 아니기 때문에 통신이 불가능하다. 즉 센서 노드는 모바일 싱크가 이동할 때 통신할 수 있는 특정 시간이 있고 그때 반드시 통신을 해야 한다. 만약 통신을 하지 못한다면 해당 지역의 정보를 얻지 못할 것이고 이러한 결과는 환경 모니터링과 같은 어플리케이션에서는 치명적 오류로 작용할 수 있다.

이러한 제한된 통신 시간은 모바일 싱크의 이동경로와 센서 노드간 거리에 따라 변화하는 또 다른 특징을 가진다. 모바일 싱크의 통신범위는 그림 3과 같이 원의 형태를 가지고 있다. 따라서 센서 노드는 모바일 싱크의 이동경로에서 멀어질수록 통신할 수 있는 시간이 짧아진다. 그림 3에서 센서 노드 A는 센서 노드 B보다 모바일 싱크의 이동경로에서 더 멀리 있기 때문에 모바일 싱크와 통신할 수 있는 시간이 더 짧은 것을 볼 수 있다.

#### 4.1.2 통신 에러의 변화

고정 싱크를 사용한 센서 네트워크는 싱크가 이동하지 않기 때문에 싱크와 통신 가능한 센서 노드와의 거리가 변화하지 않는다. 따라서, 그림 4의 (a)와 같이 싱크와 센서 노드 간 통신 에러는 시간이 변하여도 일정

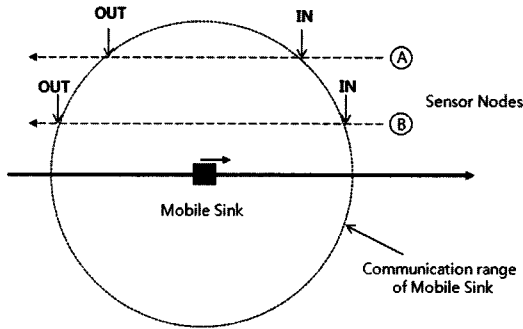


그림 3 모바일 싱크와 센서 노드의 경로

하다. 통신 에러가 변화하지 않으면 그림 4의 (b)와 같이 패킷 수신율을 역시 변화하지 않는다.

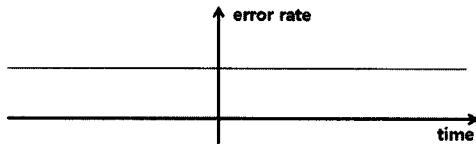
하지만 모바일 싱크는 연속적으로 움직이므로 센서 노드와 싱크 간 통신 거리가 변하는 특성이 있다. 예를 들어, 그림 3과 같이 센서 노드 A와 B는 모바일 싱크의 통신범위 안으로 들어오는 시점인 IN에서 가장 긴 통신 거리를 가진다. 이때 모바일 싱크가 이동할수록 센서 노드 A와 B는 모바일 싱크와 가까워진다. 모바일 싱크의 바로 위에 위치할 때 가장 짧은 통신 거리를 가지게 되고 다시 멀어지기 시작하여 OUT시점에서 다시 IN시점과 같은 가장 긴 통신 거리를 가진다. 따라서, 모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 에러는 그림 5의 (a)와 같이 최대 통신 에러율에서 점차 감소하다 다시 증가하는 분포를 그린다. 통신 에러가 증가하면 그만큼 패킷 수신율이 감소하므로 그림 5의 (b)와 같이 패킷 수신율은 통신 에러율의 분포와 반대로 패킷 수신율이 증가하

다가 다시 감소하는 분포를 그린다.

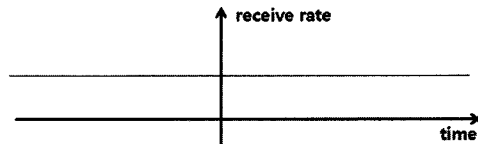
#### 4.2 모바일 싱크를 위한 스케줄링의 필요성

센서 네트워크에서 센서 노드는 균일하게 분포될 수도 있지만 환경 모니터링과 같은 어플리케이션에서는 넓은 지역에 배치되기 때문에 랜덤하게 뿌려지게 된다. 따라서, 센서 노드가 밀집한 지역이 있는가 하면 센서 노드가 거의 없는 지역도 존재한다. 이러한 센서 네트워크에서 모바일 싱크는 연속적으로 이동하며 센서 노드로부터 데이터를 전송받는다. 따라서, 모바일 싱크는 센서 네트워크 전 영역에 대해 센서 노드로부터 데이터를 전송받을 수 있는 시간이 항상 충분한 것이 아니다. 만약 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. 만약 0%의 데이터를 수집한 5개의 센서 노드가 위치한 지역에 화재가 발생하였다면 화재를 감지하지 못하는 문제가 발생할 것이다.

모바일 싱크를 사용한 센서 네트워크는 4.1절에서 살펴본바와 같이 센서 노드와 통신할 수 있는 시간이 제한되어 있고 통신 에러가 시시각각으로 변하는 특성을 지니고 있다. 모바일 싱크가 각 센서 노드로부터 균등하게 데이터를 수집하기 위해서는 이러한 특성을 고려한 스케줄링이 연구되어야 한다.

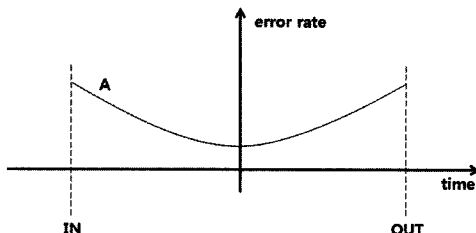


(a) 통신 에러율

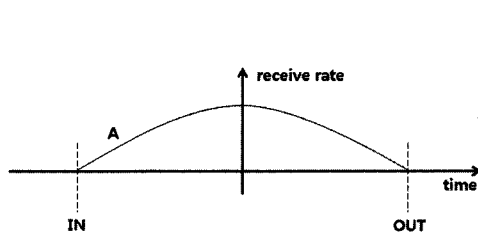


(b) 패킷 수신율

그림 4 고정 싱크의 통신 에러율 및 패킷 수신율



(a) 통신 에러율



(b) 패킷 수신율

그림 5 모바일 싱크의 통신 에러율 및 패킷 수신율

### 5. FQMS(Fair Queuing for Mobile Sink)

모바일 싱크 기반 센서 네트워크를 위한 스케줄링은 각 센서 노드에게 균등한 전송기회를 부여할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 이러한 요구사항을 만족시키기 위한 균등한 데이터 전송 스케줄링 기법인 FQMS를 제안한다. FQMS는 모바일 싱크의 특징인 제한된 전송시간과 통신 에러에 적응적으로 각 센서 노드에게 균등한 전송기회를 부여한다.

FQMS를 설계하기 위해서는 우선 모바일 싱크가 각 센서 노드와 통신할 수 있는 시간을 측정하는 센서 노드 배치 조사가 있어야 한다. 센서 노드 배치 조사는 센서 노드로부터 데이터를 전송 받기 전에 수행되는 작업으로 모바일 싱크가 관리해야 하는 모든 센서 노드를 조사한다. 이러한 사전작업을 하는 이유는 FQMS가 이 시간을 이용하여 스케줄링을 하기 때문이다. 센서 노드 배치 조사가 끝나면 모바일 싱크는 FQMS 기법을 이용해 센서 노드로부터 데이터를 전송받는다.

FQMS 스케줄링은 우선순위 선정과, 시간할당 부분으로 구성된다. 우선순위 선정은 모바일 싱크의 통신범위 안에 있는 센서 노드 중 가장 적은 데이터를 모바일 싱크로 전송하였고 모바일 싱크에게 데이터를 전송할 수 있는 확률이 가장 적은 센서 노드를 우선적으로 선정한다. 이러한 센서 노드는 모바일 싱크로 데이터를 전송할 수 있는 기회가 적기 때문에 우선적으로 선정하여 균등한 데이터를 수신하기 위해서이다. 선정된 센서 노드는 시간할당을 통해 모바일 싱크로 데이터를 전송할 수 있는 시간을 부여받는다. 센서 노드는 부여 받은 시간동안만 모바일 싱크로 데이터를 전송할 수 있다.

#### 5.1 모바일 싱크의 센서 노드 배치 조사

모바일 싱크는 센서 노드로부터 데이터를 전송 받기 전 각 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간을 계산하기 위해 센서 노드의 분포에 관한 사전조사를 한다. 모바일 싱크는 비컨 메시지를 통해 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간을 계산한다. 그림 6과 같이 모바일 싱크는 주기적으로 비컨 메시지를 브로드캐스트 하며 이동한다. 이동 중 모바일 싱크의 통신범위 안에 센서 노드가 접근하면 센서 노드는 비컨메세지의 응답 메시지를 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 통신범위 안으로 들어온 시각을 말하고  $T_{out}$ 은 범위 밖으로 벗어난 시각이다. 모바일 싱크는  $T_{in}$ 과  $T_{out}$ 의 차이로 해당 센서 노드가 모바일

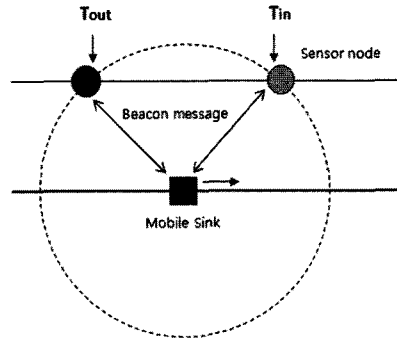


그림 6 센서 노드 배치 조사

싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간을 계산할 수 있다.

#### 5.2 우선순위 선정

센서 네트워크에 분포하고 있는 센서 노드의 배치 조사가 끝나면 모바일 싱크는 데이터를 전송받기 위해 이동한다. 모바일 싱크는 이동 중 자신의 통신범위 안에 하나 이상의 센서 노드를 가지게 될 것이고 이 센서 노드들 중 어느 센서 노드로부터 데이터를 전송 받을지 우선순위를 선정해야 한다. 우선순위 선정 시 모바일 싱크는 현재 자신의 통신범위 안에 있는 센서 노드들에게 균등한 데이터 전송 기회를 부여할 수 있어야 한다. 이를 위해 FQMS는 식 (1)을 이용한다.

$$P = RA + RD \tag{1}$$

$P$  : 우선순위

$RD$  : 수신한 데이터 양

$$RA : \int_{cr}^{out} -a(t-b)^2 + c dt$$

식 (1)은 FQMS 스케줄링에서 우선순위를 계산하는 식으로  $RA$ 는 해당 센서 노드와 모바일 싱크 간 패킷 수신율의 양이다.  $RA$ 식의  $cr$ 은 우선순위를 계산하는 시점의 시각을 의미하고  $out$ 은 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위를 벗어나는 시점의 시각을 말한다.  $-a(t-b)^2 + c$ 를 사용한 이유는 그림 5의 (b)와 같이 모바일 싱크와 센서 노드 간 패킷 수신율은 역 포물선 형태를 가지기 때문이다. 즉 센서 노드와 모바일 싱크 간 패킷 수신율의 양은 해당 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 밖으로 벗어날 시간동안의 패킷 수신율의 적분을 의미한다.  $RA$ 는 모바일 싱크로 데이터를 전송할 확률이 가장 낮은 센서 노드를 선정하기 위해 사용된 값이다. 센서 노드는 모바일 싱크에서 멀수록 통신 에러로 인해 데이터를 전송할 확률이 낮아지는 특징을 가진다. 이러한 특징을 반영하기 위해 센서 노드와 모바일 싱크 간 패킷 수신율의 양을 사용한다.  $RD$ 는 해당 센서 노드가 모바일 싱크로 전송한 패킷의 수를 의미한다.  $RD$ 의 값을 이용하는 이유는 이전에 데이터를 전송한 센서 노드보

다 전송하지 못한 센서 노드에게 우선권을 부여하기 위해서이다. 결과적으로 식 (1)은 모바일 싱크의 통신범위 안의 센서 노드 중 모바일 싱크로 데이터를 가장 적게 전송하였고 전송할 확률이 가장 낮은 센서 노드를 선정한다.

그림 7은 모바일 싱크와 센서 노드의 구성도로 모바일 싱크는 MS1 위치에서 MS3 위치까지 이동하고 있다. MS1 위치일 때는 자신의 통신범위 안에 센서 노드가 없지만 MS3 위치에서는 자신의 통신범위 안에 A, B, C, D 4개의 센서 노드를 가지고 있다. 그림 8은 모바일 싱크가 그림 7의 MS3 위치에 있을 때 센서 노드 A, B, C, D의 패킷 수신율과 수신율의 양을 나타낸 것이다. 그림 8의  $cr$ 은 time축에서 모바일 싱크가 MS3 위치에 있을 때의 시각을 의미하고  $out$ 은 각 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 밖으로 벗어나는 시각을 말한다. A, B, C, D 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안에

머무를 수 있는 시간은 각각  $A_R, B_R, C_R, D_R$ 이다. MS3 위치에서 센서 노드 A, B, C, D의 패킷 수신율의 양인  $R_A$ 는 각 포물선의 적분값이 되므로 그림 8의  $A_D, B_D, C_D, D_D$ 가 된다. A 센서 노드가 패킷 수신율의 양이 가장 적으므로 가장 높은 우선순위를 가질 수 있고 B, D, C의 순서로 우선순위가 정해질 것이다. 하지만 만약 A 센서 노드가 모바일 싱크로 전송한 데이터가 존재하여 식 (1)에 의해 계산된 값이 B 센서 노드보다 크다면 B 센서 노드가 가장 높은 우선순위를 가지게 될 것이다.

5.3 시간할당

모바일 싱크의 통신범위 안에 있는 센서 노드 중 가장 높은 우선순위를 가지는 센서 노드가 선정되면 해당 센서 노드에게 데이터를 전송할 수 있는 시간을 할당해 주어야 한다. 시간할당은 선정된 센서 노드의 통신 에러율의 양을 고려하여 할당된다. 에러율의 양이 많으면 긴 시간을 할당하고 에러율의 양이 적으면 짧은 시간을 할

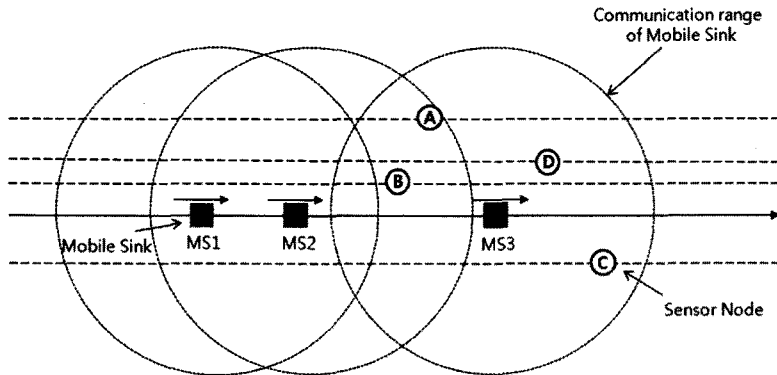


그림 7 모바일 싱크와 센서 노드의 구성도

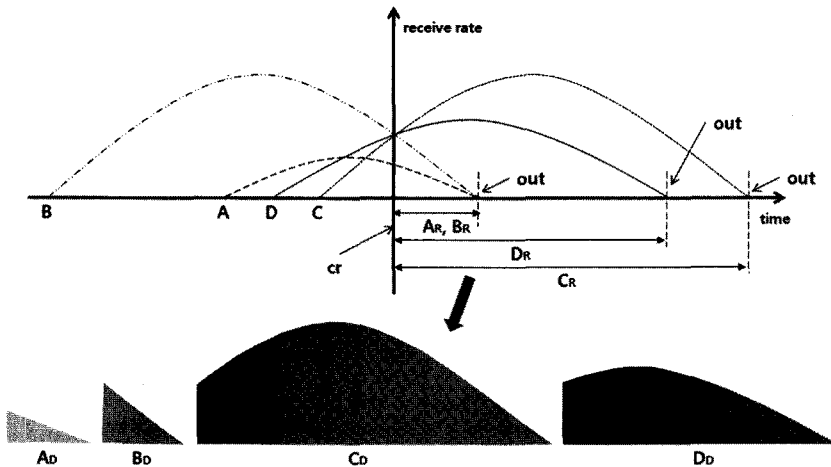


그림 8 패킷 수신율의 양

당한다. 하지만 통신 에러율의 양이 많다고 무조건 많은 시간을 할당하는 것은 문제가 있다. 모바일 싱크의 통신 범위 안에 있는 전체 센서 노드에게 균등하게 전송 기회가 부여될 수 있도록 적절한 시간할당이 필요하다. 이를 위해 FQMS는 식 (2)의 시간할당 방식을 이용한다.

$$T = \frac{UT \times RT}{ET} \quad (2)$$

$$T : \text{할당 시간 } RT : \int_{cr}^e a(t-b)^2 + c dt$$

$$UT : \text{최대 시간 } ET : \sum_{i=0}^n RT_i$$

식 (2)에서  $UT$ 는 센서 노드에게 할당될 수 있는 최대 시간을 의미한다. 센서 노드는  $UT$  시간 보다 긴 시간동안 데이터를 전송할 수 없다.  $RT$ 는  $UT$ 시간 동안 해당 센서 노드의 통신 에러율의 양이다.  $RT$ 의  $cr$ 은 시간할당을 계산하는 시점의 시각이고  $e$ 는  $cr$ 에  $UT$ 를 합한 시각이다.  $a(t-b)^2 + c$ 의 그래프를 사용하는 이유는 그림 5의 (a)와 같이 모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 에러율은 포물선 형태를 그리기 때문이다.  $ET$ 는 모바일 싱크의 통신범위 안에 있는 센서 노드 전체의  $RT$  값을 합한 값이다.  $ET$ 의  $n$ 은 시간할당을 하는 시각에 모바일 싱크의 통신범위 안에 있는 센서 노드의 수이다.

그림 9는 모바일 싱크가 그림 7의 MS3 위치에 있을 때 센서 노드 A, B, C, D의 통신 에러율과 에러율의 양을 나타낸 것이다.  $A_E, B_E, C_E, D_E$ 는 센서 노드 A, B, C, D의 통신 에러율의 양을 말한다. 만약 우선순위 선정에서 센서 노드 A가 가장 높은 우선순위를 가지는 센서 노드로 선정되었다면 데이터 수신 시간을 계산하기 위해 우선 통신 에러율의 양(식 (2)의  $RT$ )인  $A_E$ 를

계산한다.  $A_E$ 는 식 (2)에 의해  $cr$ 과  $e$ 시간 동안 A 센서 노드의 에러율을 적분한 값이 된다.  $E_T$  값을 계산하기 위해 나머지 B, C, D 노드의  $B_E, C_E, D_E$ 도 같은 방식으로 계산한다.

식 (2)에 의해 계산된 T시간 동안 A센서 노드는 모바일 싱크에게 데이터를 전송할 수 있다. 해당 시간이 지나게 되면 모바일 싱크는 다시 자신의 통신범위 내에 있는 모든 센서 노드의 우선순위를 다시 계산 하고 시간할당을 하여 데이터 수신 작업을 반복한다.

## 6. 성능평가

### 6.1 실험환경

제안하는 FQMS 기법을 평가하기 위해 센서 네트워크를 위한 컴포넌트 기반 운영체제인 TinyOS와 시뮬레이터인 TOSSIM, Tinyviz를 이용하여 실험하였다[12]. 또한 모바일 싱크의 움직임 제어를 위해 Tython을 사용하였다[13]. Tython은 TOSSIM을 위한 Java와 Python으로 구성된 스크립트 언어로 TOSSIM과 연동하여 센서 노드를 움직이거나 노드에게 패킷을 전송하는 등 다양한 기능을 제공해 준다.

실험 환경은 그림 10과 같이 랜덤하게 배치한 50개의 센서 노드와 1개의 모바일 싱크로 구성하였다. 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 1은 실험을 위한 파라미터 테이블이다. 모바일 싱크의 이동속도는 초당 1 pixel이고 통신범위는 15 pixel이다. 각 센서 노드 당 전송해야 할 총 패킷 수는 100패킷이고 초당 40패킷의 전송률로 데이터를 전송한다. FQMS에서 센서 노드에게 시간할당 시 최대 전송 시간인  $UT$ (식 (2)

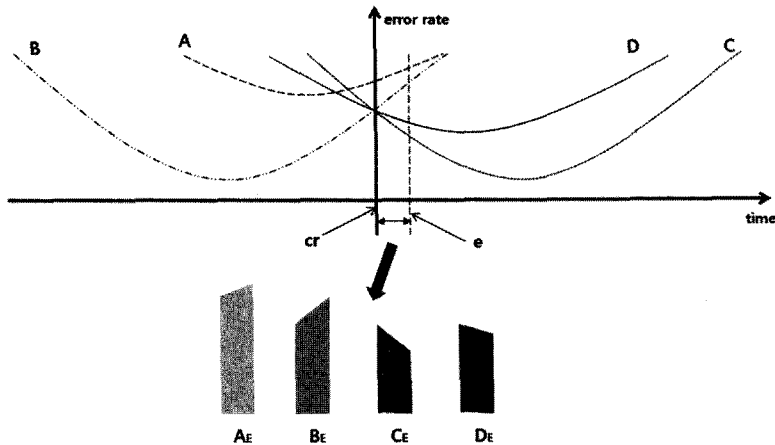


그림 9 통신 에러율의 양



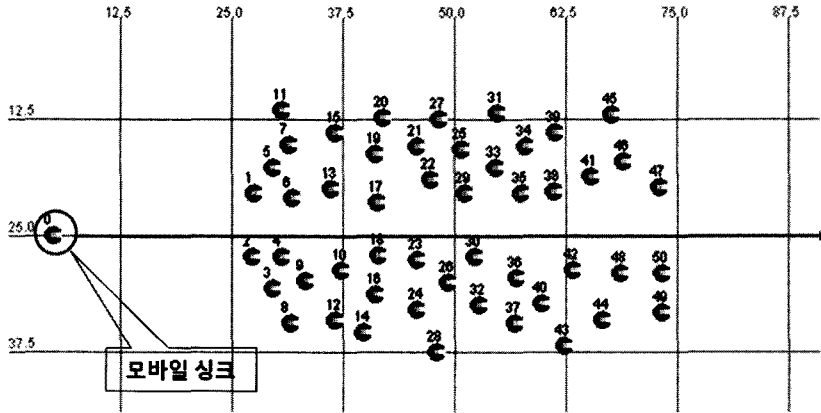


그림 10 실험환경

표 1 파라미터 테이블

파라미터	값
이동 싱크의 속도	1 pixel/sec
이동 싱크의 통신범위	15 pixel
센서 노드의 수	50
노드당 전송할 패킷 수	100 packets
센서 노드의 패킷 전송율	40 packets/sec
UT(FQMS)	1 sec
한 주기당 전송 시간 (PBRR, WFQ(T), WFQ(D))	1 sec

의  $UT$ 는 1초이고 PBRR과 WFQ(T), WFQ(D)의 전송 주기 역시 1초이다.

본 논문에서 제안하는 스케줄링 기법인 FQMS와 성능 비교를 하기위해 WFQ(T)와 WFQ(D), PBRR의 성능을 측정하였다.

WFQ(T)는 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간을 가중치로 적용한 WFQ스케줄링기법으로 그 시간이 짧은 센서 노드를 우선시 한다. WFQ(T)는 1초를 주기로 재 스케줄링을 수행한다.

WFQ(D)는 모바일 싱크가 센서 노드로부터 수신한 데이터양을 가중치로 적용한 WFQ스케줄링 기법이다. WFQ(D)는 모바일 싱크로 전송한 데이터양이 적은 센서 노드부터 전송기회를 부여한다. WFQ(D)역시 WFQ(T)와 마찬가지로 1초를 주기로 재 스케줄링을 수행한다.

PBRR은 모바일 싱크의 통신범위 안에 있는 센서 노드들로부터 순차적으로 데이터를 수신한다. WFQ와 마찬가지로 1초를 주기로 재 스케줄링을 수행한다.

**6.2 실험 결과 및 분석**

구축된 실험환경에서 WFQ(T), WFQ(D), PBRR, FQMS 스케줄링의 성능을 측정하였다. 성능 측정의 척도로 센서 노드별로 얼마나 균등하게 데이터를 전송 받았는지 측정하기 위해 센서 노드별 수신 패킷수를 측정

하였고 통신 에러를 고려해 전체 센서 노드에게서 얼마나 효율적으로 데이터 수신을 했는지 측정하기 위해 총 수신 패킷수를 측정하였다. 또한, 총 수신 패킷수와 각 센서 노드별 수신 패킷수를 이용해 각 스케줄링 기법별 성능 평가의 기준값을 계산하기 위해 Fairness Index를 측정하였다.

**6.2.1 센서 노드별 수신 패킷 수**

그림 11은 스케줄링 기법에 따른 센서 노드별 수신 패킷 수를 나타낸 것이다. WFQ(T)는 WFQ(D)나 PBRR, FQMS에 비해 데이터 수신양이 상대적으로 상당히 적은 결과를 나타내고 있다. 또한 1번과 2번 센서 노드는 자신이 전송해야 하는 전체 패킷 수인 100개의 패킷을 전송하는데 비해 그 외 센서 노드들은 거의 데이터를 전송하지 못하고 있다. 1번과 2번 센서 노드만 많은 데이터를 전송한 이유는 그림 10과 같이 모바일 싱크가 가장 처음 만나는 센서 노드가 1번과 2번 센서 노드이기 때문이다. WFQ(T)는 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드를 우선시 하므로 1번과 2번 센서 노드는 다른 센서 노드들이 모바일 싱크의 통신범위 안으로 접근하기 전에 상당히 많이 중복적으로 전송할 기회가 주어지기 때문이다. 이렇게 몇몇 노드에게 중복적으로 데이터 전송 기회를 부여하는 것은 균등한 데이터 전송기회를 부여한다고 볼 수 없다. 또한 1번과 2번 센서 노드 외에 다른 노드들은 거의 데이터를 전송하지 못하고 있다. WFQ(T)는 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드를 우선시 하는데 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드는 모바일 싱크와 거리가 먼 센서 노드를 의미하고 그 만큼 통신 에러도 높다. 결과적으로 모바일 싱크는 자신과 거리가 먼 센서 노드들만 데이터 전송 요청을 하게 되고 높은 에러율로 인해 수신되는 데이터의 양은 적게 되는 문제가 발생한다.

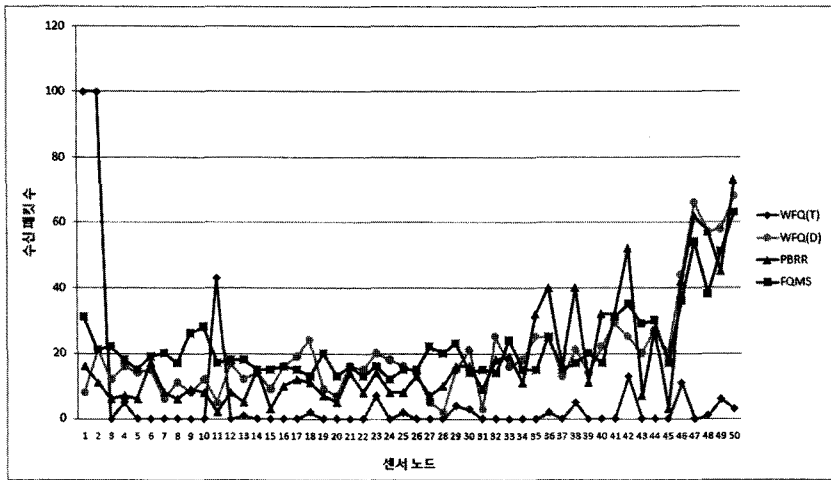


그림 11 센서 노드별 수신 패킷 수

WFQ(T)는 몇몇 센서 노드로부터 중복 전송을 받는 문제점이 있고 모바일 싱크와 거리가 먼 센서 노드들로부터만 데이터를 수신하려고 하는 문제가 있어 균등한 데이터 수집을 위한 스케줄링으로 볼 수 없다.

WFQ(D)는 WFQ(T)와 같이 몇몇 센서 노드는 자신이 전송해야 할 데이터의 100%를 전송하고 나머지 노드는 전혀 데이터를 전송하지 못하는 문제는 발생하지 않는다. 하지만 28번, 31번 센서 노드와 같이 다른 센서 노드에 비해 상당히 적은 양의 데이터를 전송한 노드가 존재한다. 이러한 노드가 발생하는 이유는 WFQ(D)는 단순히 센서 노드로부터 수신한 데이터가 적은 센서 노드를 우선시하기 때문에 한 센서 노드에게서 중복전송을 하지 않지만 모바일 싱크의 이동 경로로부터 먼 곳에 존재하는(모바일 싱크에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드) 센서 노드를 고려하지 않기 때문에 해당 센서 노드는 데이터를 전송할 수 있는 기회가 적어지기 때문이다.

PBRR은 단순히 모바일 싱크의 통신범위 안에 존재하는 센서 노드들을 순서대로 돌아가며 데이터를 전송 받는다. 따라서, 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드를 고려해 주지 않기 때문에 해당 센서 노드는 그만큼 패킷을 전송할 수 있는 기회가 적어지고 이전에 전송한 데이터를 고려하지 않아 몇몇 센서 노드로부터 중복 전송이 일어날 수 있다. 이러한 현상은 그림 11에서 34번~50번 센서 노드 사이에서 극심하게 발생한다. 34번~50번 사이의 센서 노드를 보면 30 패킷 이상을 전송한 센서 노드가 11개가 존재하는 반면 5개 센서 노드는 15패킷도 전송하지 못하였다.

FQMS는 전체적으로 15패킷 이상의 전송율을 보이고 있다. 또한 WFQ(T)와 같이 다른 센서 노드에 비해 많은 패킷(100패킷)을 전송한 센서 노드도 존재하지 않는

다. FQMS는 우선순위 선정 시 통신 에러가 많은 센서 노드를 우선시하기 때문에 모바일 싱크로부터 먼 거리에 있는 센서 노드가 데이터를 전송 기회를 부여받지 못하는 문제가 없다. 또한 센서 노드가 전송한 데이터양을 우선순위 선정 시 가중치로 사용하기 때문에 몇몇 노드로부터 중복적으로 데이터를 전송받는 문제도 발생하지 않는다. 또한 우선순위 선정 시 선정된 센서 노드의 에러율을 파악해 에러율이 낮은 센서 노드는 그만큼 짧은 시간을 부여하고 에러율이 높은 센서 노드는 긴 시간을 부여해 균등한 데이터 수집을 이루어 낸다.

그림 10의 센서 노드 28번은 모바일 싱크가 이동하는 이동 경로와 먼 거리에 위치한다. 따라서, 에러율이 다른 노드에 비해 높게 되고 데이터를 전송할 수 있는 기회가 적다. WFQ(T)와 WFQ(D), PBRR은 각각 0개, 2개, 10개의 데이터를 전송한데 반해 FQMS는 20패킷을 전송한 것을 볼 수 있다. 이것은 FQMS가 전송기회가 적은 센서 노드를 고려하여 균등한 데이터 수집을 하고 있음을 보여준다.

그림 10의 38번 센서 노드는 모바일 싱크의 이동경로와 가까운 곳에 위치한다. 따라서 에러율이 낮아 모바일 싱크와 거리가 먼 센서 노드에 비해 전송할 수 있는 데이터양이 많아질 수 있다. 또한 에러율이 낮기 때문에 한 번이라도 중복 전송이 일어나면 다른 센서 노드에 비해 많은 데이터를 전송하게 된다. 하지만 그림 11과 같이 FQMS는 38번 센서 노드로부터 상대적으로 많은 데이터를 전송받지 않았다. WFQ(T)나 WFQ(D), PBRR은 상대적으로 많은 데이터를 전송받은 것을 알 수 있다. PBRR은 40패킷 이상을 수신한 것으로 보아 중복 전송까지 일어난 것을 알 수 있다. 이것으로 FQMS는 전송 기회가 많고 중복전송이 일어날 수 있는 센서 노드를 고

려하여 균등한 데이터 수집을 하고 있음을 알 수 있다.

6.2.2 총 수신 패킷 수

모바일 싱크로부터 거리가 먼 센서 노드는 에러율이 높기 때문에 가능하면 해당 센서 노드가 최대한 모바일 싱크와 가까워졌을 때 데이터 요청을 하는 것이 효율적이다. 모바일 싱크로부터 거리가 멀어졌을 때 아무리 많은 시간을 할당하여 전송 기회를 부여해도 에러율로 인해 수신되는 데이터량은 많아지지 않을 것이다. 즉 센서 노드가 최대한 에러율이 낮을 때 데이터 전송 기회를 부여하고 에러율이 낮을 때 전송기회를 부여하지 못하였다면 에러율이 높더라도 조금 더 많은 시간을 할당하면 패킷 수신율은 올라가고 전체 센서 노드로부터 수신한 패킷 수도 증가할 것이다.

그림 12는 각 스케줄링 기법에 따라 총 수신 패킷 수를 측정한 것이다. WFQ(T)는 모바일 싱크로부터 거리가 먼 센서 노드들로부터만 데이터를 전송 받으려 하기 때문에 300패킷 정도 밖에 수신하지 못한 것을 알 수 있다. WFQ(D)와 PBRR은 WFQ(T)보다는 많은 데이터를 수신했지만 전송기회가 적은 센서 노드와 전송기회가 많은 센서 노드를 적절히 고려하여 데이터를 수집하지 않기 때문에 FQMS에 비해 적은 1000패킷 이하의 데이터를 수신한 것을 알 수 있다.

FQMS는 전송기회가 적은 센서 노드는 많은 시간을 할당해 주고 에러율이 낮아 짧은 시간만 데이터를 수신받아도 많은 데이터를 수신할 수 있는 센서 노드는 짧은 시간을 할당하기 때문에 전체적으로 균등한 데이터를 수집할 수 있다. 결과적으로 전체 센서 노드로부터 수신한 총 수신패킷 수도 증가한다. 이러한 결과로 FQMS가 다른 스케줄링 기법에 비해 효율적으로 데이터를 수집하고 있음을 알 수 있다.

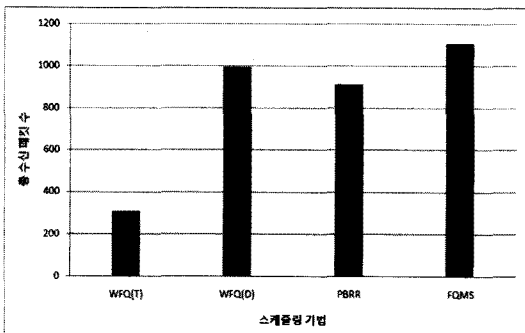


그림 12 스케줄링 기법별 총 수신 패킷 수

6.2.3 Fairness Index

제한하는 FQMS의 균등한 데이터 수집 정도를 측정하기 위해 식 (3)의 Fairness Index를 사용하였다.  $x_i$ 는

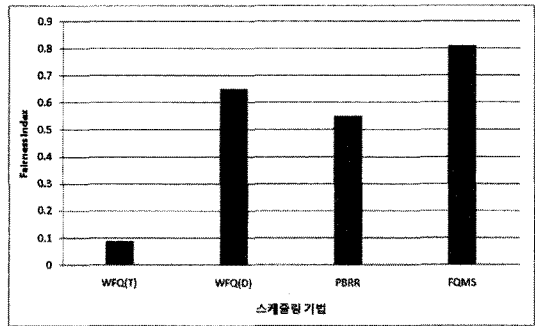


그림 13 스케줄링 기법별 Fairness Index

각 센서 노드가 모바일 싱크로 전송한 패킷의 수이고  $n$ 은 전체 센서 노드의 수이다.

$$\text{Fairness Index} = \frac{(\sum x_i)^2}{n \sum x_i^2} \quad (3)$$

그림 13의 Fairness Index는 전체 센서 노드로부터 수신한 총 데이터양이 많고 균등한 전송을 보일수록 그 값이 높게 나타난다. 그림 13에서 WFQ(T)는 0.1 이하의 Fairness Index를 보이고 있다. 이러한 값은 다른 WFQ(D)나 PBRR, FQMS에 비해 현저히 낮은 값인데 이것은 그림 11과 그림 12에서 확인할 수 있듯이 수신한 데이터양도 적을 뿐만 아니라 몇몇 센서 노드로부터는 센서 노드가 전송해야 하는 데이터 전체(100패킷)를 수신하는 반면 하나도 데이터를 전송하지 못한 센서 노드가 있기 때문이다. WFQ(D)는 가중치로 수신 데이터 양을 사용하기 때문에 중복 전송이 일어나지 않아 WFQ(T)나 PBRR에 비해 높은 Fairness Index를 보이고 있다. 하지만 전송 기회가 적은 센서 노드를 고려하지 않아 FQMS에 비해 낮은 Fairness Index를 보이고 있다. PBRR은 중복전송이나 전송기회가 적은 센서 노드를 고려하지 않아 WFQ(D)나 FQMS에 비해 낮은 Fairness Index를 보인다. 그림 13의 결과로 FQMS가 균등한 데이터 수집을 보이고 있음을 알 수 있다.

7. 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 싱크 주변의 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. 균등하게 데이터를 수집하지 못하고 몇몇 센서 노드부터는 많은 데이터를 수집하고 몇몇 센서 노드에서는 데이터를 수집하지 못한다면 데이터를 수집하지 못한 센서 노드가 위치한 지역의 정보는 얻을 수 없는 문제가 생긴다. 본 논문에서는 균등한 데이터 수집을 위해 모바일 싱크의 통신 환경을 고려한 FQMS를 제안하였다. FQMS는 모바일 싱크의 이동성과 센서 노드와 의 통신 에러율 및 패킷 수신율 등을 고려하여 균등한 데이터 수집을 보장한다. FQMS와의 성능 비교를 위하여 스케줄링 기법 중 균등성을 위한 스케줄링 기법인 WFQ와 PBRR과 성능평가를 수행하였다. WFQ는 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간을 가중치로 설정한 WFQ(T)와 모바일 싱크로 전송한 데이터 양을 가중치로 적용한 WFQ(D)로 나누어서 실험하였다.

실험 결과 WFQ(T)는 몇몇 센서 노드에서는 많은 데이터를 수신하는 데이터 집중현상이 발생하였고 몇몇 센서 노드를 제외하고 대부분의 센서 노드가 데이터를 전송하지 못하는 문제가 발생하였다. WFQ(T)는 센서 노드가 모바일 싱크로 전송한 데이터양을 고려하지 않기 때문에 중복된 전송이 일어나기 때문이다. 또한 모바일 싱크와 통신 가능한 시간이 짧은 센서 노드를 우선시 하기 문에 통신 가능한 시간이 짧은 즉 모바일 싱크와 거리가 먼 센서 노드로부터 데이터를 전송 받으려 하기 때문에 데이터 수신율이 낮게 나타난다. WFQ(D)는 WFQ(T)처럼 중복된 전송은 일어나지 않지만 모바일 싱크로부터 거리가 먼 센서 노드(통신 에러율이 높은 센서 노드)를 고려하지 않기 때문에 해당 센서 노드로부터 데이터를 수신하지 못하는 문제가 있다. PBRR은 WFQ(T)처럼 몇몇 센서 노드로부터 많은 데이터를 수신하는 문제는 발생하지 않지만 모바일 싱크와 통신 가능한 시간이나 전송한 데이터를 고려하지 않기 때문에 전체적으로 균등한 데이터 수집이 이루어지지 않았다.

본 논문에서 제안한 FQMS는 WFQ(T)에서 발생한 데이터 중복 현상이 발생하지 않았다. 또한 WFQ(D)나 PBRR와 같이 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간이 짧은 센서 노드에게 전송기회를 많이 부여하지 못하는 문제도 없었다. 실험 결과 FQMS는 다른 스케줄링 기법에 비해 전체 센서 노드에서 균등한 데이터 수집을 보였다. 이것은 각 센서 노드가 전송한 데이터양을 고려하고 통신 에러율을 고려하여 우선순위 및 시간

할당을 적절히 스케줄링해 주기 때문이다.

향후에는 각 센서 노드별 전송 데이터양, 모바일 싱크의 이동경로, 속도 등이 변화될 때를 고려한 균등한 스케줄링 기법에 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 of the ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, November 2004.
- [3] A. Basharat, N. Catbas, M. Shah, "A Framework for Intelligent Sensor Network With Video Camera for Structural Health Monitoring of Bridges," in *Proceedings of Third IEEE International Conference on PerCom*, March 2005.
- [4] A. Mainwaring, D. Culler, J. Polastre, R. Szewczyk, J. Anderson, "Wireless sensor networks for habitat monitoring," in *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, pp.88-97, September 2002.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] A. Demers, S.Keshav, and S. Shenker, "Analysis and Simulation of a Fair Queueing Algorithm," *ACM SIGCOMM*, pp.3-12, Sept, 1989.
- [9] F. Ye, H. Luo, J. Cheng, S. Lu, and L. Zhang, "ATwo-Tier Data Dissemination Model for Large-scale Wireless Sensor Networks," *ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'02)*, pp.148-159, 2002.
- [10] 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.
- [11] A. Somasundara, A. Ramamoorthy, and M. Srivas-

tava, "Mobile element scheduling for efficient data collection in wireless sensornetworks with dynamic deadlines," in *The 25th IEEE International Real-Time Systems Symposium (RTSS)*, 2004.

- [12] 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.
- [13] M. Demmer and P. Levis, "Tython scripting for TOSSIM," *Network Embedded Systems Technology Winter*, 2004.



조 영 태

2007년 강원대학교 정보통신공학과 학사  
2007년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정. 2009년~2010년 University of Minnesota Duluth 방문연구원. 관심분야는 멀티미디어 시스템, 센서네트워크



박 총 명

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



이 과 형

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



서 동 만

2002년 강원대학교 컴퓨터학과 학사. 2004년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사. 2010년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사(2010년 2월 졸업 예정). 관심분야는 병렬처리, 멀티미디어 시스템, 운영체제, 센서네트워크



임 동 선

1986년 송실대학교 전자계산학과 학사  
1996년 한국과학기술원 정보 및 통신공학과 석사. 1986년~현재 한국전자통신연구원 임베디드S/W연구단 책임연구원  
2003년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사과정. 관심분야는 임베디드 소프트웨어 플랫폼, 실시간 시스템, 소프트웨어 아키텍처



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