

무선 센서 네트워크에서 모바일 싱크를 통한 데이터 수집의 균등성 보장을 위한 가용성 기반 스케줄링 기법

이 좌 형[†] · 조 영 태^{††} · 정 인 범^{†††}

요 약

무선 센서네트워크에서 데이터 수집을 담당하는 싱크를 일정한 장소에 고정시켜 놓는 것은 데이터 수집의 안정성을 보장할 수 있지만 싱크 노드 주변으로 집중되는 네트워크 트래픽이 과도하게 소모시켜 네트워크의 수명을 단축시키는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 싱크에 이동성을 부여하여 싱크 주변 노드로 집중되는 네트워크 트래픽을 분산시키는 모바일 싱크 기법이 새로운 대안으로 제시되고 있다. 하지만 모바일 싱크를 사용하면 네트워크 트래픽의 집중화 문제는 해결할 수 있으나 이동성으로 인하여 데이터 수집의 안정성이 떨어지는 문제점이 발생할 수 있다. 데이터를 안정적으로 수집하기 위해서는 센서 노드와 모바일 싱크 간 통신 가능한 시간 안에 각 센서 노드들로부터 균등하게 데이터를 수집할 수 있는 데이터 수집 스케줄링에 대한 고려가 필요하다. 본 논문에서는 모바일 싱크에 기반한 무선 센서 네트워크에서 센서 노드들로부터 균등하게 데이터를 수집하기 위한 센서노드의 가용성 기반 스케줄링기법인 ASF(Availability based Scheduling scheme for Fair data collection)를 제안한다. ASF는 모바일 싱크의 이동경로와 센서노드 간의 거리를 기준으로 판단되는 센서노드의 가용성에 따라 스케줄링의 우선순위를 타임슬롯을 할당한다. 모바일 싱크의 이동경로와 멀리 떨어져 있어 데이터 수집의 가용성이 낮은 센서노드에 높은 우선순위와 긴 타임슬롯을 할당함으로써 노드간 데이터 수집의 균등성을 보장한다. 실험을 통하여 제안된 기법이 기존의 다른 기법들에 비해 무선 센서 노드들로부터의 데이터 수집에 있어서 가장 균등하게 데이터를 수집함을 보인다.

키워드 : 모바일 싱크, 무선 센서 네트워크, 통신 에러율, ASF

Availability based Scheduling Scheme for Fair Data Collection with Mobile Sink in Wireless Sensor Networks

Joa Hyoung Lee[†] · Young Tae Jo^{††} · In Bum Jung^{†††}

ABSTRACT

With fixed sinks, the network stability could be improved while the network life time could be decreased by the rapid energy dissipation around the fixed sink because of the concentrated network traffic from sensor nodes to the fixed sink in wireless sensor network. To address this problem, mobile sinks, which decentralize the network traffic, has received a lot of attention from many researchers recently. Since a mobile sink has a limited period to communicate with each sensor nodes, it is necessary for a scheduling algorithm to provide the fairness of data collection from each sensor nodes. In the paper, we propose the new scheduling algorithm, ASF(Availability based Scheduling scheme for Fair data collection), for the fair data collection by a mobile in the sensor networks. The ASF takes account of the distance between each sensor nodes and the mobile sink as scheduling metric, as well as the amount of collected data from each sensor nodes. Experiment results shows that the ASF improves the fairness of data collection among the sensor nodes, comparing to existing algorithm.

Keywords : Mobile Sink, Wireless Sensor Network, Communication Error, ASF

1. 서 론

최근 MEMS, 마이크로프로세서 그리고 무선 통신 기술의

발전으로 센서 노드들을 이용하여 넓은 지역에 걸쳐 정확한 정보를 얻고자 하는 센서 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 이러한 센서 네트워크는 일상 환경이나 재난현장과 같은 특정 환경 등에서 다양한 정보를 수집하는 것을 목적으로 한다[2-4]. 센서 네트워크에는 주변 환경으로부터 데이터를 수집하는 일반 센서노드와 측정된 데이터를 모으는 하나 이상의 싱크로 구성된다. 이러한 환경에서 센서 노드들이 수집한 정보를 싱크로 효율적으로 전송하는 방

※ 본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

† 준 회 원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 박사수료

†† 준 회 원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 석사과정

††† 종신회원 : 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수(교신저자)

논문접수 : 2008년 11월 6일

수정일 : 1차 2009년 1월 22일, 2차 2009년 2월 19일

심사완료 : 2009년 3월 1일

법을 매우 중요한 연구과제들 중 하나이다.

초기의 센서 네트워크에 관한 연구에서는 고정된 싱크를 위한 라우팅 기법이 연구되었다. 하지만 고정 싱크를 사용한 센서 네트워크는 싱크의 주변에 배치된 센서 노드의 에너지 소모가 극심해지는 문제가 있다. (그림 1)의 (a)와 같이 고정 싱크 주변의 센서 노드는 자신이 수집한 데이터뿐만 아니라 싱크에서 멀리 떨어져 있는 센서 노드들이 수집한 데이터까지 모두 싱크로 전송하여야 하기 때문이다. 싱크 주변 센서 노드들이 전송하는 데이터양이 증가함에 비례하여 에너지 소모가 급증하면 싱크 주변 센서 노드들부터 에너지가 빠르게 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 1)의 (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 데이터를 균등하게 수집해야 한다. 일부의 센서 노드로부터는 많은 데이터를 수신하고 다른 센서 노드로부터는 데이터를 전혀 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 균등하게 데이터를 수집하기 위한 데이터 수집 스케줄링이 필요하다.

모바일 싱크를 이용하여 데이터를 수집하는 경우 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 지속적으로 이동하기 때문에 센서 노드와 모바일 싱크 간 통신 에러율도 시시각각으로 변한다. 이러한 환경에서 노드별로 균등하게 데이터를 수집하기 위해서는 노드별 통신 순서와 시간을 효율적으로 스케줄링할 필요가 있다. 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 낮고 모바일 싱

크와 통신 가능한 시간이 긴 센서 노드는 짧은 시간 동안만 데이터를 수신해도 될 것이다.

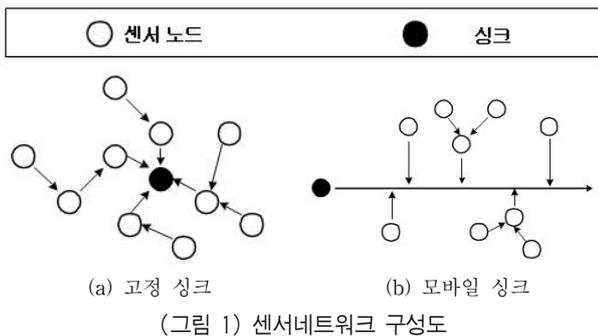
본 논문에서는 이러한 모바일 싱크의 가변적인 통신 환경을 고려하여 센서노드로부터 균등하게 데이터 수집을 할 수 있는 센서노드의 가용성 기반 스케줄링 기법인 ASF(Availability based Scheduling scheme for Fair data collection)를 제안한다. ASF는 모바일 싱크의 이동경로와 센서노드사이의 거리값을 센서노드의 가용성으로 판단하여 가용성에 따라 스케줄링의 우선순위와 타임슬롯할당을 조절한다. 모바일 싱크의 이동경로에서 거리가 멀어 에러율이 높은 센서 노드를 고려하여 우선순위 선정에 반영하고 동적으로 타임슬롯을 할당한다. 또한 센서 노드로부터 이전에 전송된 데이터를 가중치로 적용하여 중복전송을 방지하여 균등한 데이터 수집을 보장한다. ASF 스케줄링은 우선순위 선정과, 타임슬롯 할당 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 적어 가용성이 제일 낮은 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 타임슬롯 할당을 통해 모바일 싱크로 데이터를 전송할 수 있는 시간을 부여받는다. 센서 노드는 부여 받은 시간동안만 모바일 싱크로 데이터를 전송할 수 있다.

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 ASF에 대해 설명한다. 6장에서는 ASF의 모의실험과 성능평가를 기술하고 7장에서는 결론 및 향후 계획을 제시한다.

2. 관련 연구

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. PBRP(packet Based Round Robin)알고리즘은 패킷 단위로 큐들을 순서대로 돌아가면서 서비스한다. 구현이 용이하고 같은 패킷 사이즈의 전송에는 균등성이 보장되지만 다양한 패킷 사이즈의 전송에는 큐들 간의 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 경우 보다 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 노드로 부터는 데이터를 전혀 수신하지 못하는 문제점이 발생하여 노드에서의 센싱 작업이 무의미해지는 결과를 초래할 수 있다.

또한 모바일 싱크의 통신범위에 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.

모바일 싱크에 관한 이전 논문[14]에서 우리는 센서네트워크에서의 균등한 데이터 수집에 관하여 분석하고 이를 위한 데이터 가중치 기반 스케줄링 기법을 제안하였다. 하지만 [14]논문에서는 노드간 통신에 예러가 없는 것으로 가정하여 현실에 적용하기에 미흡한 점이 있어 본 논문에서 노드간 통신에 발생할 수 있는 예러를 고려한 스케줄링 기법을 제안하고자 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.

전체 센서 노드는 독립적이고 랜덤하게 분포하며 평면에 배치된다. 센서 노드의 전송 데이터양은 노드별로 동일하다. 모바일 싱크와 센서 노드 간 데이터 전송률 또한 동일하다.

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.

모바일 싱크와 센서 노드 간 네트워크 연결 모델은 다음과 같은 특징을 가진다.

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

노드에서 전송하는 라디오의 전파모델로는 Shadowing Model을 가정한다. Shadowing model은 전파가 여러 경로로 전달되기 때문에 특정 거리에서 수신하는 전파의 세기가 임의의 변수가 되는 Fading effect를 반영한다. Shadowing model은 크게 두 부분으로 구성된다. 첫 번째 부분은 d만큼 떨어진 거리에서의 평균 수신 전파 세기를 예측하는 경로 손실 모델(Path loss model)로서 초기 기준값인 d_0 와의 상대적인 값을 아래와 같이 계산한다[15, 16].

$$\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} = \left(\frac{d}{d_0}\right)^\beta$$

<표 1> 환경에 따른 경로 손실 지수의 예

Environment		β
Outdoor	Free Space	2
	Shadowed urban area	2.7 to 5
In building	Line-of-sight	1.6 to 1.8
	Obstructed	4 to 6

β 는 경로 손실 지수 (Path loss exponent)로서 주로 필드 상에서의 실험으로 구해지며 일반적으로 <표 1>에 명시된 값을 사용한다. $P_r(d)$ 는 Free space상에서 거리에 따른 수신 전파 세기를 계산하는 다음 수식으로 구할 수 있다.

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L}$$

P_t 는 전송시 전파 세기를 나타내며, G_t 와 G_r 은 각각 송신자와 수신자의 안테나 이득을, L 은 시스템 손실을 나타내고 λ 는 전파의 파장을 나타낸다. 일반적으로 G_t 와 G_r 그리고 L 값은 1로 설정된다.

경로 손실은 일반적으로 dB로 측정되며 위의 경로 손실 모델은 아래와 같이 정리될 수 있다.

$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right)$$

Shadowing model의 두 번째 부분은 특정한 거리에서 수신된 전파 세기의 변화를 반영하는 log-normal random variable을 적용하는 것이다. log-normal random variable은 가우시안 분포를 따른다. 전체적인 shadowing model은 아래 수식과 같다.

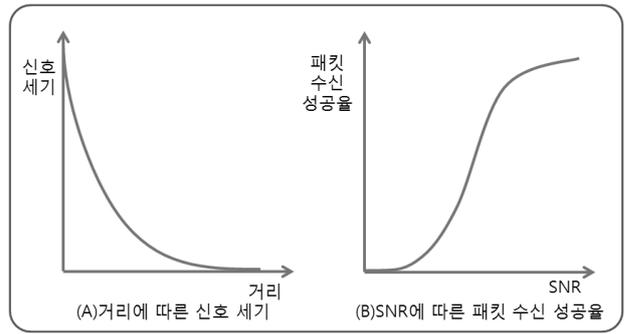
$$\left[\frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right] = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{dB}$$

X_{dB} 는 평균값과 표준편차를 0으로 하는 가우시안 랜덤 변수로서 shadowing deviation이라 불리며 필드상에서의 실험으로 구해진 값을 사용할 수 있다<표 2>.

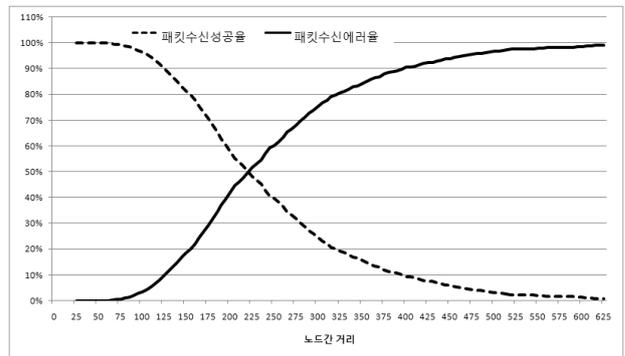
Shadowing model에 기반하여 거리에 따른 신호세기와

<표 2> 환경에 따른 shadowing deviation예

Environment	XdB
Outdoor	4 to 12
Office, hard partition	7
Office, soft partition	9.6
Factory, line-of-sight	3 to 6
Factory, obstructed	6.8



(그림 2) 거리에 따른 신호세기와 SNR에 따른 패킷 수신 성공률



(그림 3) 노드간 거리에 따른 통신 어려움 및 패킷 수신률

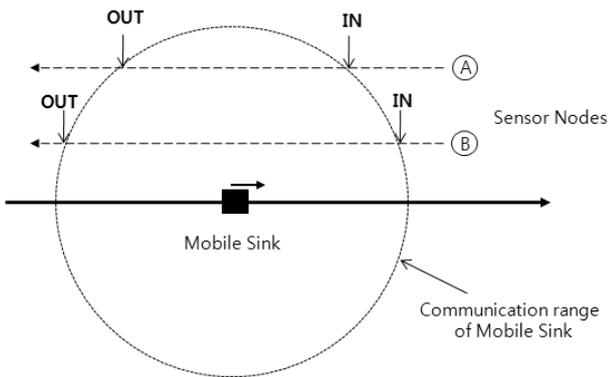
신호대 잡음비(SNR)에 따른 패킷 수신 성공률을 (그림 2)에 간략히 나타내었으며 위에서 설명한 shadowing model에 기반하여 거리에 따른 패킷 수신 성공률과 패킷 수신 어려움 (그림 3)에 나타내었다. 경로 손실 지수인 β 는 2.0으로, shadowing deviation인 XdB는 4로 하였으며 기준 거리인 d_0 는 1로 하였다[17]. (그림 2)에 (A)에서 보듯이 거리가 길어질수록 신호세기가 급격히 감소하는데 (그림 2)의 (B)에서 SNR이 감소하면 패킷 수신 성공률도 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. (그림 3)에서 거리에 따라 패킷 수신 성공률이 급격히 감소하고 패킷 수신 어려움이 급격히 증가하는 것은 (그림 2)에 나타난 거리에 따른 신호세기의 변화에 기반하는 것을 알 수 있다.

4. 모바일 싱크의 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 어려움 및 패킷 수신율의 변화를 가져오는 특징이 있다.

4.1 제한된 통신 시간

(그림 4)는 모바일 싱크와 센서 노드 A, B의 관계를 나타



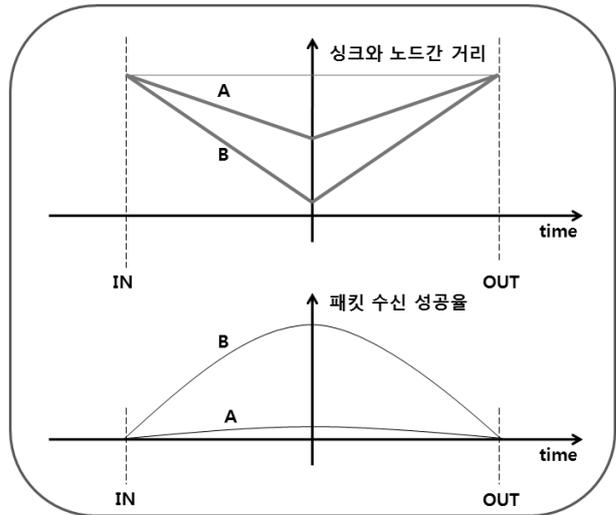
(그림 4) 모바일 싱크와 센서 노드의 경로

낸 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 4)과 같이 원의 형태를 가지고 있다. 따라서 센서 노드는 모바일 싱크의 이동경로에서 멀어질수록 통신할 수 있는 시간이 짧아진다. (그림 4)에서 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.

4.2 통신 에러의 변화

모바일 싱크는 연속적으로 움직이므로 센서 노드와 싱크간 통신 거리가 변하는 특성이 있다. 예를 들어, (그림 5)와 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. (그림 5)의 (a)와 같이 모바일 싱크의 바로 위에 위치할 때 가장 짧은 통신 거리를 가지게 되고 다시 멀어지기 시작하여 OUT시점에서 다시 IN시점과 같은 가장 긴 통신 거리를 가진다. 통신 거리가 증가하면 그만큼 패킷 수신율이 감소하므로 (그림 5)의 (b)와 같이 패킷 수신율은 통신 에러율의 분포와 반대로 패킷 수신율이 증가하다가 다시 감소하는 분포를 그린다.



(그림 5) 모바일 싱크의 이동에 따른 거리변화와 패킷 수신 성공률 변화

5. ASF(Availability based Scheduling scheme for Fair data collection)

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 ASF를 제안한다. ASF는 모바일 싱크의 특징인 제한된 전송시간과 통신 에러에 적응적으로 각 센서 노드에게 균등한 전송기회를 부여한다.

ASF 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 균등하게 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 우선순위 선정

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 ASF는 식 (1)을 이용한다.

$$P = RA + RD \quad (1)$$

P : 우선순위
RD : 수신한 데이터 양

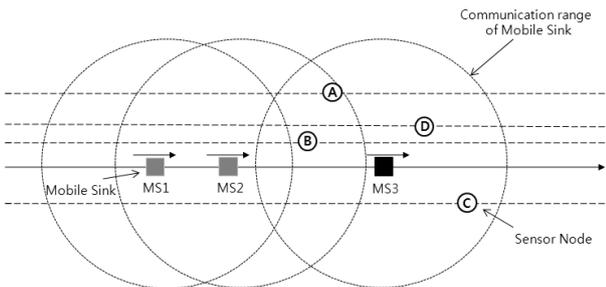
$$RA : \int_{cr}^{out} (P_r(d_0)(-10\beta\log(\frac{d_t}{d_0}) + X_{dB})) dt$$

식 (1)은 ASF 스케줄링에서 우선순위를 계산하는 식으로 RA는 해당 센서 노드와 모바일 싱크 간 패킷 수신율의 양이다. RA식의 cr 은 우선순위를 계산하는 시점의 시각을 의미하고 out 은 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위를 벗어나는 시점의 시각을 말한다. 앞서 3장에서 살펴보았듯이 패킷 수신 성공률은 라디오 전파 세기와 연관이 있기 때문에 본 논문에서는 Shadowing model에 기반하여 패킷 수신 성공률을 계산한다. 센서 노드와 모바일 싱크 간 패킷 수신율의 양은 해당 센서 노드가 모바일 싱크의 통신범위 밖으로 벗어날 시간동안의 패킷 수신율의 적분을 의미한다. RA는 모바일 싱크로 데이터를 전송할 확률이 가장 낮은 센서 노드를 선정하기 위해 사용된 값이다.

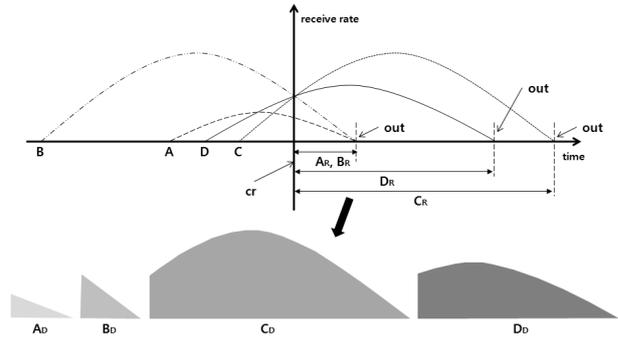
센서 노드는 모바일 싱크에서 멀수록 통신 에러로 인해 데이터를 전송할 확률이 낮아지는 특징을 가진다. 이러한 특징을 반영하기 위해 센서 노드와 모바일 싱크 간 패킷 수신율의 양을 사용한다. RD는 해당 센서 노드가 모바일 싱크로 전송한 패킷의 수를 의미한다. RD의 값을 이용하는 이유는 이전에 데이터를 전송한 센서 노드보다 전송하지 못한 센서 노드에게 우선권을 부여하기 위해서이다. 결과적으로 식 (1)은 모바일 싱크의 통신범위 안의 센서 노드 중 모바일 싱크로 데이터를 가장 적게 전송하였고 전송할 확률이 가장 낮은 센서 노드를 선정한다.

(그림 6)은 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 7)은 모바일 싱크가 (그림 6)의 MS3 위치에 있을 때 센서 노드 A, B, C, D의 패킷 수신율과 수신율의 양을 나타낸 것이다. (그림 7)의 cr 은 time축에서 모바일 싱크가 MS3 위치에 있을 때의 시각을 의미하고 out 은 각 센서 노



(그림 6) 모바일 싱크와 센서 노드의 구성도



(그림 7) 패킷 수신율의 양

드가 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 RA는 각 포물선의 적분값이 되므로 (그림 7)의 AD, BD, CD, DD가 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.

5.2 타임슬롯할당

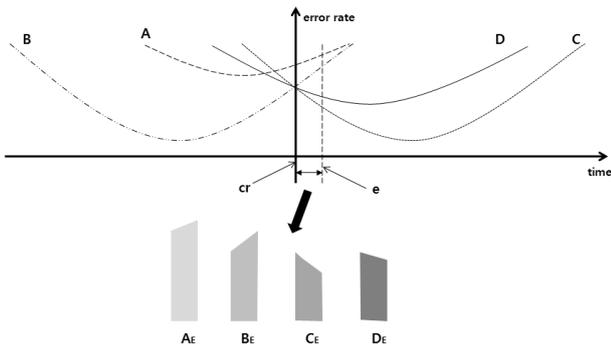
모바일 싱크의 통신범위 안에 있는 센서 노드 중 가장 높은 우선순위를 가지는 센서 노드가 선정되면 해당 센서 노드에게 데이터를 전송할 수 있는 타임슬롯을 할당해 주어야 한다. 타임슬롯할당은 선정된 센서 노드의 통신 에러율의 양을 고려하여 할당된다. 에러율의 양이 많으면 긴 타임슬롯을 할당하고 에러율의 양이 적으면 짧은 타임슬롯을 할당한다. 하지만 통신 에러율의 양이 많다고 무조건 긴 타임슬롯을 할당하는 것은 문제가 있다. 모바일 싱크의 통신범위 안에 있는 전체 센서 노드에게 균등하게 전송 기회가 부여될 수 있도록 적절한 타임슬롯할당이 필요하다. 이를 위해 ASF는 식 (2)의 시간할당 방식을 이용한다.

$$T = \frac{UT \times RT}{ET}$$

T : 할당 시간 $RT : \int_{cr}^e (P_r(d_0)(-10\beta\log(\frac{d_t}{d_0}) + X_{dB})) dt \quad (2)$

UT : 최대 시간 $ET : \sum_{i=0}^n RT_i$

식 (2)에서 UT는 센서 노드에게 할당될 수 있는 최대 시간을 의미한다. 센서 노드는 UT 시간 보다 긴 시간동안 데이터를 전송할 수 없다. RT는 UT시간 동안 해당 센서 노



(그림 8) 통신 에러율의 양

드의 통신 에러율의 양이다. RT의 cr 은 시간할당을 계산하는 시점의 시각이고 e 는 cr 에 UT 를 합한 시각이다. ET는 모바일 싱크의 통신범위 안에 있는 센서 노드 전체의 RT 값을 합한 값이다. ET의 n 은 시간할당을 하는 시각에 모바일 싱크의 통신범위 안에 있는 센서 노드의 수이다.

(그림 8)은 모바일 싱크가 (그림 4)의 MS3 위치에 있을 때 센서 노드 A, B, C, D의 통신 에러율과 에러율의 양을 나타낸 것이다. $A\epsilon$, $B\epsilon$, $C\epsilon$, $D\epsilon$ 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 $A\epsilon$ 를 계산한다. $A\epsilon$ 는 식 (2)에 의해 cr 과 e 시간 동안 A 센서 노드의 에러율을 적분한 값이 된다. ET 값을 계산하기 위해 나머지 B, C, D 노드의 $B\epsilon$, $C\epsilon$, $D\epsilon$ 도 같은 방식으로 계산한다.

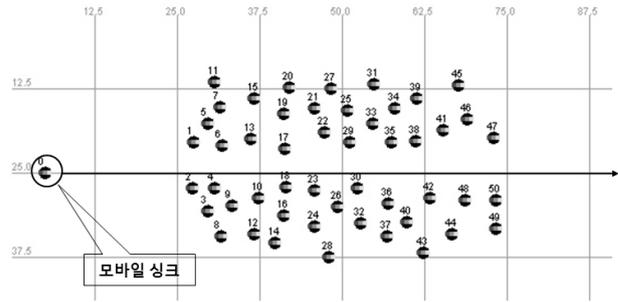
식 (2)에 의해 계산된 T시간 동안 A센서 노드는 모바일 싱크에게 데이터를 전송할 수 있다. 해당 시간이 지나게 되면 모바일 싱크는 다시 자신의 통신범위 내에 있는 모든 센서 노드의 우선순위를 다시 계산 하고 시간할당을 하여 데이터 수신 작업을 반복한다.

6. 성능 평가

6.1 실험환경

제안하는 ASF 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 9)와 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 3>은 실험을 위한 파라



(그림 9) 실험환경

<표 3> 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(ASF)	1 sec
한 주기당 전송 시간(PBRR, WFQ(T), WFQ(D))	1 sec
경로 손실 지수 (β)	2.0
Shadowing deviation (X_{dB})	4
기준거리 (d_0)	1

미터 테이블이다. 모바일 싱크의 이동속도는 초당 1 pixel 이고 통신범위는 15 pixel이다. 각 센서 노드 당 전송해야 할 총 패킷 수는 100패킷이고 초당 40패킷의 전송률로 데이터를 전송한다. ASF에서 센서 노드에게 시간할당 시 최대 전송 시간인 UT (식 (2)의 UT)는 1초이고 PBRR과 WFQ(T), WFQ(D)의 전송 주기 역시 1초이다. 라디오 전파 모델의 경로 손실 지수인 β 는 2.0으로, shadowing deviation인 X_{dB} 는 4로 하였으며 기준 거리인 d_0 는 1로 하였다.

본 논문에서 제안하는 스케줄링 기법인 ASF와 성능 비교를 하기위해 WFQ(T)와 WFQ(D), PBRR의 성능을 측정하였다. WFQ(T)는 모바일 싱크의 통신범위 안에 머무르는 시간을 가중치로 적용한 WFQ스케줄링기법 으로 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 전송 기회를 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.

아래 <표 4>는 싱크에서 수신한 패킷에 대한 전파 수신 세기를 구하는 소스코드이다. 앞서 3장에서 설명한 Shadowing model을 구현한 부분으로서 노드간 거리에 따른 전파세기를 계산한다. 실험에서는 아래의 소스코드로 구현된 전파세기를 이용하여 스케줄링시 우선순위를 결정한다.

〈표 4〉 전파 수신 세기를 구하기 위한 코드

```

Shadowing::Pr(Packet , Sender, Receiver)
{double L = getL();          // system loss
double lambda = getLambda(); // wavelength
double Xt, Yt, Zt;          // loc of transmitter
double Xr, Yr, Zr;          // loc of receiver
getLoc(Sender, &Xt, &Yt, &Zt);
getLoc(Receiver, &Xr, &Yr, &Zr);

double dX = Xr - Xt;
double dY = Yr - Yt;
double dZ = Zr - Zt;
double dist = sqrt(dX * dX + dY * dY + dZ * dZ);
double Pr;
// get antenna gain
double Gt =getAntenna()->getTxGain(dX, dY, dZ, lambda);
double Gr = getAntenna()->getRxGain(dX, dY, dZ, lambda);
// calculate receiving power at reference distance
double Pr0 = Friis(t->getTxPr(), Gt, Gr, lambda, L, dist0_);
// calculate average power loss predicted by path loss model
double avg_db = -10.0 * pathlossExp_ * log10(dist/dist0_);

// get power loss by adding a log-normal random variable (shadowing)
// the power loss is relative to that at reference distance dist0_
double powerLoss_db = avg_db + ranVar->normal(0.0, std_db_);
// calculate the receiving power at dist
Pr = Pr0 * pow(10.0, powerLoss_db/10.0);
return Pr;
}
    
```

6.2 실험 결과 및 분석

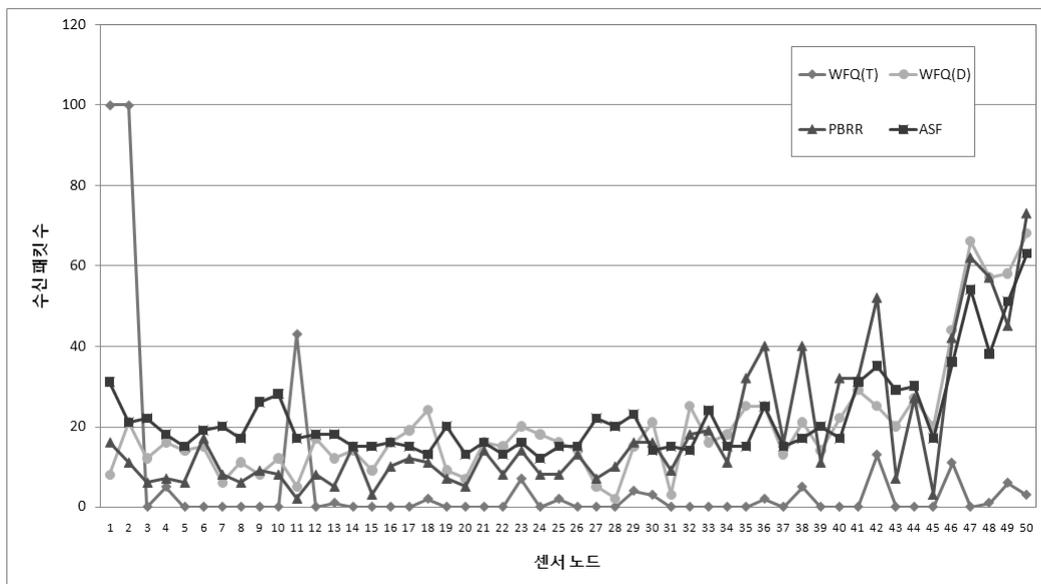
구축된 실험환경에서 WFQ(T), WFQ(D), PBRR, ASF 스케줄링의 성능을 측정하였다. 성능 측정의 척도로 센서 노드별로 얼마나 균등하게 데이터를 전송 받았는지 측정하기 위해 센서 노드별 수신 패킷수를 측정하였고 통신 에러를 고려해 전체 센서 노드에게서 얼마나 효율적으로 데이터 수신을 했는지 측정하기 위해 총 수신 패킷수를 측정하였다. 또한, 총 수신 패킷수와 각 센서 노드별 수신 패킷수를 이용해 각 스케줄링 기법별 성능 평가의 기준값을 계산하기 위해 Fairness Index를 측정하였다.

6.2.1 센서 노드별 수신 패킷 수

(그림 10)은 스케줄링 기법에 따른 센서 노드별 수신 패킷 수를 나타낸 것이다. WFQ(T)는 WFQ(D)나 PBRR, ASF에 비해 데이터 수신량이 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 8)에서 보듯이 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 시간



(그림 10) 센서 노드별 수신 패킷 수

이 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. WFQ(T)는 몇몇 센서 노드로부터 중복 전송을 받는 문제점이 있고 모바일 싱크와 거리가 먼 센서 노드들로부터 데이터 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 전송받는다. 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 8)에서 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.

ASF는 전체적으로 15패킷 이상의 전송율을 보이고 있다. 또한 WFQ(T)와 같이 다른 센서 노드에 비해 많은 패킷(100패킷)을 전송한 센서 노드도 존재하지 않는다. ASF는 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 10)의 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 데이

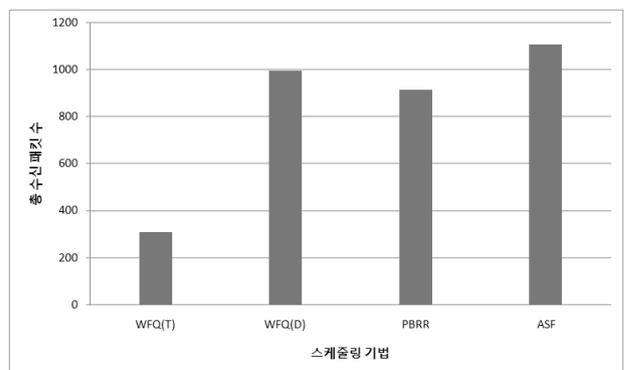
터를 전송한데 반해 ASF는 20패킷을 전송한 것을 볼 수 있다. 이것은 ASF가 전송기회가 적은 센서 노드를 고려하여 균등한 데이터 수집을 하고 있음을 보여준다.

(그림 10)의 38번 센서 노드는 모바일 싱크의 이동경로와 가까운 곳에 위치한다. 따라서 에러율이 낮아 모바일 싱크와 거리가 먼 센서 노드에 비해 전송 할 수 있는 데이터양이 많아 질 수 있다. 또한 에러율이 낮기 때문에 한번이라도 중복 전송이 일어나면 다른 센서 노드에 비해 많은 데이터를 전송하게 된다. 하지만 (그림 9)과 같이 ASF는 38번 센서 노드로부터 상대적으로 많은 데이터를 전송받지 않았다. WFQ(T)나 WFQ(D), PBRR은 상대적으로 많은 데이터를 전송 받은 것을 알 수 있다. PBRR은 40패킷 이상을 수신한 것으로 보아 중복 전송 까지 일어난 것을 알 수 있다. 이것으로 ASF는 전송기회가 많고 중복전송이 일어날 수 있는 센서 노드를 고려하여 균등한 데이터 수집을 하고 있음을 알 수 있다.

6.2.2 총 수신 패킷 수

모바일 싱크로부터 거리가 먼 센서 노드는 에러율이 높기 때문에 가능 하면 해당 센서 노드가 최대한 모바일 싱크와 가까워 졌을 때 데이터 요청을 하는 것이 효율적이다. 모바일 싱크로부터 거리가 멀어 졌을 때 아무리 많은 시간을 할당하여 전송 기회를 부여해도 에러율로 인해 수신되는 데이터양은 많아 지지 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 11)은 각 스케줄링 기법에 따라 총 수신 패킷 수를 측정한 것이다. WFQ(T)는 모바일 싱크로부터 거리가 먼 센서 노드들로부터만 데이터를 전송 받으려 하기 때문에 300 패킷 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 ASF에 비해 적은 1000패킷 이하의 데이터를 수신한 것을 알 수 있다.



(그림 11) 스케줄링 기법별 총 수신 패킷 수

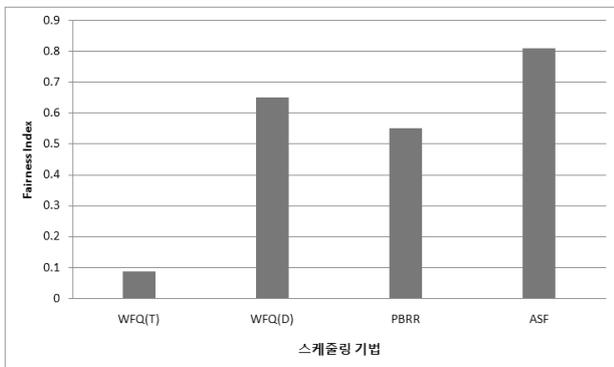
ASF는 전송기회가 적은 센서 노드는 많은 시간을 할당해 주고 에러율이 낮아 짧은 시간만 데이터를 수신받아도 많은 데이터를 수신할 수 있는 센서 노드는 짧은 시간을 할당하기 때문에 전체적으로 균등한 데이터를 수집할 수 있다. 결과적으로 전체 센서 노드로부터 수신한 총 수신패킷 수도 증가한다. 이러한 결과로 ASF가 다른 스케줄링 기법에 비해 효율적으로 데이터를 수집하고 있음을 알 수 있다.

6.2.3 Fairness Index

제안 하는 ASF의 균등한 데이터 수집 정도를 측정하기 위해 식 (3)의 Fairness Index를 사용하였다. x_i 는 각 센서 노드가 모바일 싱크로 전송한 패킷의 수이고 n 은 전체 센서 노드의 수이다.

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

(그림 12)의 Fairness Index는 전체 센서 노드로부터 수신한 총 데이터양이 많고 균등한 전송을 보일수록 그 값이 높게 나타난다. (그림 12)에서 WFQ(T)는 0.1 이하의 Fairness Index를 보이고 있다. 이러한 값은 다른 WFQ(D)나 PBRR, ASF에 비해 현저히 낮은 값인데 이것은 (그림 10)과 (그림 11)에서 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 ASF에 비해 낮은 Fairness Index를 보이고 있다. PBRR은 중복전송이나 전송기회가 적은 센서 노드를 고려하지 않아 WFQ(D)나 ASF에 비해 낮은 Fairness Index를 보인다. (그림 12)의 결과로 ASF가 균등한 데이터 수집을 보이고 있음을 알 수 있다.



(그림 12) 스케줄링 기법별 Fairness Index

7. 결론 및 향후 계획

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 노드로 부터는 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 ASF를 제안하였다. ASF는 모바일 싱크의 이동성과 센서 노드와 의 통신 에러율 및 패킷 수신율 등을 고려하여 균등한 데이터 수집을 보장한다. ASF와의 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 데이터양을 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. 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 노드로 부터만 많은 데이터를 수신하는 문제는 발생하지 않지만 모바일 싱크와 통신 가능한 시간이나 전송한 데이터를 고려하지 않기 때문에 전체적으로 균등한 데이터 수집이 이루어 지지 않았다. 본 논문에서 제안한 ASF는 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 ASF는 다른 스케줄링 기법에 비해 전체 센서 노드에서 균등한 데이터 수집을 보였다.

향후에는 각 센서 노드별 전송 데이터양, 모바일 싱크의 이동경로, 속도 등이 변화될 때를 고려한 균등한 스케줄링 기법에 대해 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 Largescale 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. 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.
- [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.
- [14] 조영태, 박충명, 이좌형, 정인범, "모바일 싱크 기반 무선 센서 네트워크에서 균등한 데이터 수집을 위한 데이터 가중치 기반 스케줄링 기법", 정보과학회, 제35권, 제1호, pp.21-33, 2008년 2월.
- [15] H. T. Friis. "A note on a simple transmission formula," Proc. IRE, 34, 1946.
- [16] T. S. Rappaport, "Wireless communications, principles and practice," Prentice Hall, 1996.
- [17] Bae, K. Kim, "Analysis of Wireless Link for Mobile Sensor Network," ICEE2006, YongPyong Resort, Korea, July, 9-13, 2006.
- [18] Tal Rusak, Philip Alexander Levis, "Investigating a physically-based signal power model for robust low power wireless link simulation," MSWiM 2008: 37-46. 2006.



이 좌 형

e-mail : jinnie4u@kangwon.ac.kr

2003년 강원대학교 정보통신공학과(공학사)

2005년 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
(공학석사)

2005년~현 재 강원대학교 컴퓨터정보통신
공학과 박사수료

관심분야 : 멀티미디어 시스템, 센서 네트워크



조 영 태

e-mail : ytjoe@snslab.kangwon.ac.kr

2007년 강원대학교 정보통신공학과(공학사)

2007년~현 재 강원대학교 컴퓨터정보통신
공학과 석사과정

관심분야 : 센서네트워크, 멀티미디어 시스템



정 인 범

e-mail : ibjung@kangwon.ac.kr

1985년 고려대학교 전자공학과(학사)

1985년~1995년 삼성전자 컴퓨터시스템
사업부 선임연구원

1994년 한국과학기술원 정보통신공학과
(석사)

2000년 한국과학기술원 전산학과(박사)

2001년~현재 강원대학교 컴퓨터정보통신공학전공 교수

관심분야: 운영체제, 멀티미디어 시스템, 센서네트워크