

발표분야: WSN

싱글 홉 센서 네트워크에서 모바일 싱크를 위한 통신에러 적응적 스케줄링기법

조영태⁰, 정인범
강원대학교 컴퓨터 정보통신 공학과
{ytjoe, ibjung}@snslab.kangwon.ac.kr

Error Adaptive based Scheduling Scheme for Single-hop Sensor Networks with Mobile Sink

Young-Tae⁰, In-Bum Jung
Dept. of Computer, Information and Telecommunication
Engineering, Kangwon National University

요 약

센서 네트워크에서 싱크 주변 노드의 에너지 분산을 위해 모바일 싱크를 사용한 데이터 수집 방법이 최근 활발히 연구되고 있다. 모바일 싱크의 데이터 수집은 각 센서노드별로 균등한 데이터를 수집하는것이 중요하다. 본 논문은 무선 센서 네트워크의 통신 에러에 적응적이며 모바일 싱크에게 균등한 데이터 수집을 보장하는 EAEDF를 제안한다.

I. 서 론

최근 센서 네트워크를 위한 데이터 전송 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 센서 네트워크의 각 노드는 컴퓨팅 파워나 에너지가 제한되어 있기 때문에 효율적 자원 소비가 중요하다. RF를 통한 데이터 전송은 센서 네트워크에서 가장 많은 에너지를 소모한다. 따라서, 효율적 데이터 전송 방법에 대한 연구가 중요하다.

센서 네트워크의 각 센서 노드는 센싱된 정보를 싱크로 전송하므로 싱크 주변 센서 노드의 부하가 커지는 문제점이 발생한다. 부하의 증가는 많은 에너지 소모로 이어지고 많은 에너지 소모로 인한 싱크 주변 센서 노드의 수명 단축은 전체 네트워크의 수명을 단축시키는 원인이 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 모바일 싱크를 이용한 에너지 소비 분산에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

* 본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임

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 센서노드로부터 균등한 데이터를 수집해야 한다. 몇몇 노드로부터 데이터를 수신하지 않는다면 센서 네트워크를 이용한 환경 모니터링같은 어플리케이션에서는 큰 문제로 작용할 수 있다.

모든 센서 노드로부터 균등한 데이터를 수집하기 위해서는 각 센서 노드로부터 데이터를 수신하는 순서에 대한 스케줄링이 필요하다. 본 논문은 실시간 스케줄링 기법인 EDF(Earliest Deadline First)를 기반으로 한 EAEDF(Error Adaptive Earliest Deadline First)를 제안한다. 센서 네트워크는 무선 환경이기 때문에 모바일 싱크와 센서 노드 간 거리가 멀어질수록 통신 에러가 지수적으로 증가한다. EAEDF는 이러한 환경에 적응적으

로 균등한 데이터 수집을 보장한다.

II. 관련연구

센서 네트워크에서 싱크 주변 센서 노드의 에너지를 분산시키기 위해 모바일 싱크를 적용 시키는 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.

센서 네트워크는 싱크 주변 노드의 에너지 소비가 극심한 문제를 가지고 있다. 이것은 센서 네트워크의 애드 혹에 의한 특성으로 싱크 주변 노드는 싱크에서 먼 노드의 데이터까지 모두 싱크로 전송해야 하기 때문이다. 싱크 주변 노드의 증가된 전송 데이터 양으로 에너지 소비가 급증 하면 싱크에서 먼 노드보다 먼저 에너지가 모두 소모 된다. 이러한 현상은 싱크에서 먼 노드들이 데이터를 전송할 수 있는 충분한 에너지를 가지고 있어도 싱크로 데이터를 전송할 수 없게 되는 문제점을 발생 시킨다. 이는 전체 센서 네트워크의 라이프 타임을 짧아지게 만드는 원인이 된다. 라이프 타임을 증가시키기 위해선 싱크 주변 노드의 에너지 소비를 다른 노드들에게 분산 시켜야 한다. 이를 해결하기 위해 최근 모바일 싱크를 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다 [1, 2].

하지만 이러한 연구들은 모바일 싱크가 각 센서들에게서 어떤 순서로 얼마만큼의 데이터를 전송받으며 이동하는지 자세히 언급하지 않고 센서 노드가 전송해야 하는 모든 데이터를 받아 오는 것을 전제로 하고 있다. 하지만 만약 모바일 싱크가 각 센서 노드로부터 전체 데이터를 수신할 수 있는 충분한 시간이 없다면 모바일 싱크는 통신 가능한 시간 안에 각 센서 노드로부터 균등한 양의 데이터를 수집해야 한다. 본 논문에서는 모바일 싱크가 센서 노드별로 균등한 데이터를 수집할 수 있는 스케줄링 기법에 대해 제안한다.

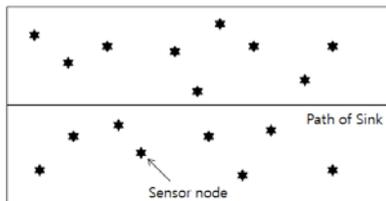


그림 1. 센서 네트워크 배치 모델.

III. 시스템 모델

이 장에서는 본 논문에서 사용된 센서 네트워크 환경과 모바일 싱크에 대해 설명한다. 센서 네트워크의 배치상태와 모바일 싱크가 센서 네트워크에서 이동하는 패턴에 대해 설명하고 모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 모델에 대해 설명한다.

1. 센서 네트워크 배치 모델

전체 센서 노드는 그림 1과 같이 독립적이고 랜덤하게 분포하며 평면에 배치된다. 각 센서 노드는 모바일 싱크와 싱글 홉으로 통신하고 전송할 데이터양과 소모할 수 있는 에너지양은 모두 동일하다. 센서노드에서 모바일 싱크로 전송하는 데이터 전송을 또한 모든 센서 노드별로 동일하다.

2. 모바일 싱크의 이동모델

모바일 싱크는 랜덤하게 분포된 센서들 사이로 고정된 경로를 가진다. 모바일 싱크는 멈춤 없이 연속적으로 이동하고 이동 중 경로는 수정되지 않는다. 또한 단일의 모바일 싱크로 이루어진다.

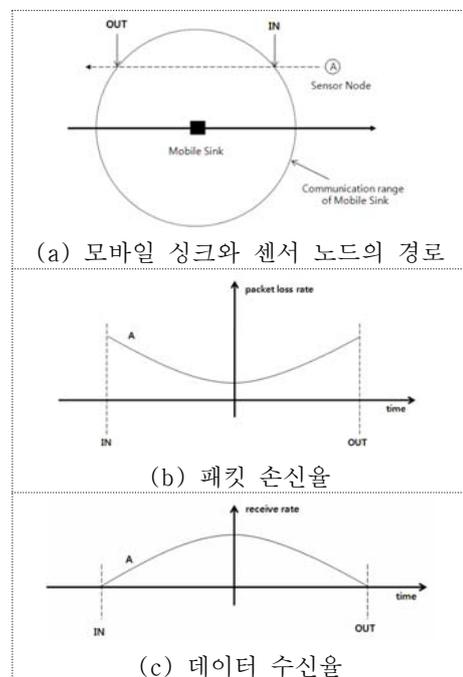


그림 2. 모바일 싱크의 통신모델.

3. 통신 모델

모바일 싱크의 통신 모델은 그림 2와 같다. 모바일 싱크와 센서 노드는 싱글 홉으로 통신한다. 그림 2의 (a)와 같이 센서 노드는 모바일 싱크의 통신 범위안에 들어온 후 일정 시간 후 통신 범위를 벗어나게 된다. 이때 모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 에러에 의한 패킷 손실율은 그림 2의 (b)와 같이 거리가 변화될 때 패킷 손실율은 지속적으로 증가하거나 감소한다[3]. 반대로 모바일 싱크와 센서간에 데이터를 송수신 할 수 있는 데이터 수신율은 그림 2의 (c)와 같다.

IV. 모바일 싱크의 데이터 수집 스케줄링

1. 스케줄링의 필요성

모바일 싱크를 사용한 싱글 홉 센서 네트워크에서 각 센서 노드로부터 균등하게 데이터를 수집하는 것은 중요한 문제이다. 랜덤하게 분포된 센서 네트워크에서 특정 센서 노드에서는 많은 데이터를 수집하고 다른 일부 센서 노드에서는 데이터를 수집하지 않는다면 데이터가 수집되지 않은 지역의 정보는 얻지 못한다. 만약 화재를 감시하는 센서 네트워크에서 화재가 일어난 지역의 센서 노드로부터 데이터를 수집하지 않고 지나친다면 화재를 감지하지 못하는 문제가 발생하게 된다. 이렇듯 모바일 싱크는 모든 센서 노드에서 균등한 양의 데이터를 수집할 수 있어야 한다. 제안하는 EAEDF 스케줄링은 모바일 싱크와 센서 노드 간 통신 에러에 적응적이며 각 센서 노드로부터 균등한 데이터 수집을 보장한다.

2. EAEDF(Error Adaptive Earliest Deadline First)

모바일 싱크는 센서 네트워크를 이동하며

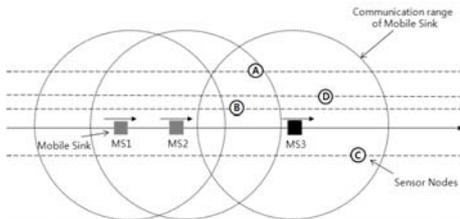


그림 3. 모바일 싱크와 센서 노드 구성도.

각 센서 노드로부터 데이터를 수집한다. 그림 3은 모바일 싱크와 센서 노드 간 구성도로 모바일 싱크가 MS1에서부터 MS3까지 이동하는 것을 나타내고 있다. 모바일 싱크가 MS1 위치에 있을 때는 모바일 싱크의 통신 범위안에 센서 노드가 존재하지 않는다. MS2 위치에 있을 때는 A, B 센서 노드가 통신 범위 안에 머무르게 되고 MS3 위치일 때는 A, B, C, D 센서 노드가 통신 범위 안에 위치한다. 이때 각 센서는 모바일 싱크와 통신 가능한 시간이 모두 다르다. A 센서 노드는 다른 B, C, D 센서 노드에 비해 모바일 싱크와 통신가능한 시간이 적다. 또한 모바일 싱크가 이동하기 때문에 모바일 싱크와 센서 노드 간 데이터 수신율도 계속해서 변하게 된다. EAEDF는 이러한 센서노드와 모바일 싱크의 관계를 고려하여 각 센서 노드에게 균등한 데이터 전송을 보장한다.

EAEDF는 데드라인에 가장 가까운 태스크를 먼저 실행시키는 스케줄링 기법인 EDF 스케줄링 기법을 기반으로 한다[4]. EAEDF는 데드라인에 가장 가까운 센서노드를 선정하는 우선순위 계산 부분과 각각의 센서 노드에게 할당할 전송시간을 계산하는 시간 할당 부분으로 나뉘어진다.

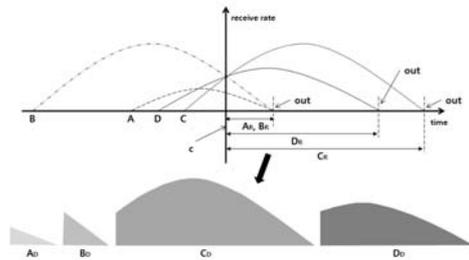


그림 4. 데이터 수신율의 양.

① 우선순위 선정

$$P = D + RD$$

(1)

P : 우선순위

$$D : \int_c^{out} -at + bdt$$

RD : 수신한 데이터 양

모바일 싱크는 자신의 통신 범위안에 있는

센서 노드 중에서 어떤 센서 노드에게 데이터를 전송 받을 것인지 우선순위를 정해야 한다. 우선순위는 식(1)에 의해 결정된다. 식(1)의 D는 모바일 싱크가 우선순위를 계산하는 시점(그림 4의 c)에서 해당 센서 노드가 모바일 싱크의 통신 범위를 벗어나는 시점(그림 4의 out)까지의 데이터 수신율의 양을 말하고 RD는 각 센서 노드로부터 수신한 데이터의 양을 말한다. 예를 들어, 그림 3에서 모바일 싱크가 MS3 위치에 있을 때 A센서 노드의 수신가능 데이터양(D)은 그림 4의 그래프 A의 A_r 기간의 면적인 A_d 가 되고 RD는 A센서 노드로부터 이전에 수신한 데이터의 양이 된다. RD를 우선순위 계산에 넣는 이유는 균등한 데이터 수집을 위해서다. 기존에 이미 데이터를 전송한 센서 노드는 그만큼 데이터를 전송하지 않아도 되기 때문이다.

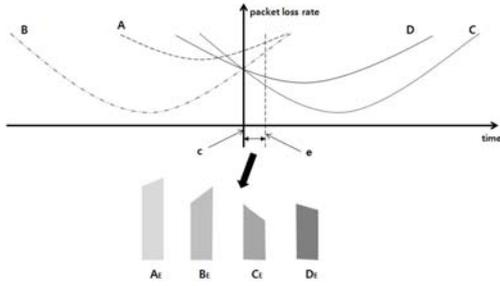


그림 5. 패킷 손실율의 양.

② 센서 노드 별 시간 할당

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

T : 할당 시간

UT : 단위 시간

$$RT : \int_c^e at + b dt$$

$$ET : \sum_{i=0}^n RT_i$$

우선순위가 계산되면 우선순위가 가장 높은 센서 노드에게 할당 할 데이터 전송 시간을 계산해야 한다. 할당 시간(T)은 식(2)에 의해 계산된다. 식(2)의 UT는 시간 계산을 위한 단위 시간이다. UT는 상수 값으로 본

논문에서는 1sec 으로 고정한다. RT는 우선순위가 가장 높은 센서노드의 단위시간(그림 5에서 UT는 c와 e의 차이값)동안의 모바일 싱크와 센서 노드 간 패킷 손실율의 양이다. ET는 현재 모바일 싱크의 통신 범위 안에 있는 센서 노드(n개)들의 단위시간(UT)동안의 패킷 손실율의 양의 합이다. 예를 들어, 그림 3에서 모바일 싱크가 MS3의 위치에 있을 때 B 센서노드의 우선순위가 가장 높다면 B센서 노드에게 할당되는 시간은 다음과 같다. B센서 노드의 단위시간 동안의 패킷 손실율의 양(RT)은 그림 5의 B_e 가 된다. B_e 는 그래프 B의 time축에서 c와 e사이의 면적이 된다. ET는 그림 5에서 A, B, C, D 각각의 패킷 손실율 양의 합($A_e + B_e + C_e + D_e$)이 된다.

V. 성능 평가

1. 실험 환경

제안한 EAEDF 스케줄링 기법을 평가하기 위해 센서 네트워크를 위한 컴포넌트 기반 운영체제인 TinyOS와 시뮬레이터인 TOSSIM, Tinyviz를 이용하여 실험하였다 [5]. 모바일 싱크의 움직임 제어를 위해 Tython을 사용하였다[6]. Tython은 TOSSIM을 위한 Java와 Python으로 구성된 스크립트 언어이다. Tython은 TOSSIM과 연동하여 노드를 움직이거나 노드에게 패킷을 전송하는 등 다양한 기능을 제공해 준다.

본 논문에서 제안하는 EAEDF를 평가하기 위해 아래와 같이 3가지 스케줄링 기법과 비교 분석하였다.

- FCFS(First Come First Service): 가장 먼저 모바일 싱크의 통신 범위 안으로 접근한 센서 노드에게 가장 높은 우선순위를 부여하는 스케줄링이다. 해당 센서 노드가 전송해야 하는 모든 데이터를 전송받고 재 스케줄링을 한다.
- RR(Round Robin): 모바일 싱크의 통신 범위 안에 있는 센서 노드들에서 단위 시간(앞서 말한 UT와 같은 시간) 동안 데이터를 전송 받고 재 스케줄링을 한다.
- EDF: 통신 에러를 적용하지 않은 스케줄링으로 모바일 싱크와 통신 가능한

시간이 가장 짧은 센서 노드에게 우선 순위를 부여한다. 송신 중인 센서 노드의 모든 데이터가 모바일 싱크로 전송된 후 재 스케줄링 한다.

실험 환경은 그림 6과 같이 랜덤하게 배치한 50개의 센서 노드와 1개의 모바일 싱크로 구성된다. 표 1과 같이 모바일 싱크의 이동속도는 초당 2 pixel이고 통신범위는 15pixel이다. 각 센서 노드당 전송해야 할 데이터는 100packets고 센서 노드는 초당 40 패킷의 전송률로 데이터를 전송한다. 센서 노드는 그림 6에서 (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 1. 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 |

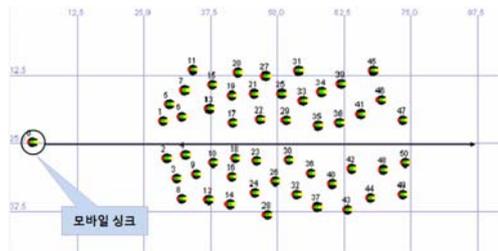


그림 6. 실험 환경.

2. 실험 결과 및 분석

시뮬레이션 환경에서 FCFS, EDF, RR, EAEDF 스케줄링의 성능을 측정하였다. 성능 측정의 척도로는 각 스케줄링 별로 수신되는 패킷수와 수신 패킷수의 합을 측정하였다. 또한 센서 노드들에게서 균등한 데이터를 수집을 측정하기 위해 식(3)의 fairness index를 측정하였다[7].

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

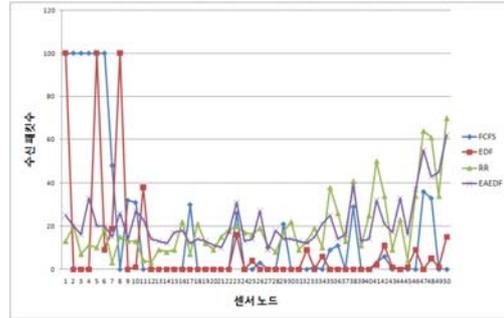


그림 7. 센서 노드 별 수신패킷 수.

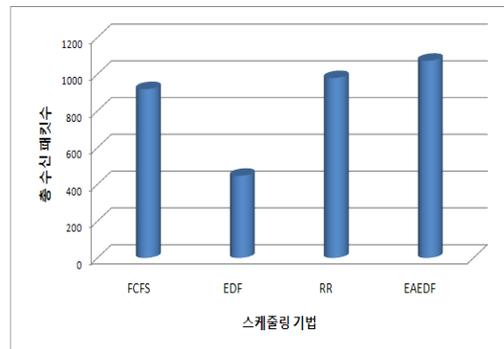


그림 8. 스케줄링 기법 별 총 수신 패킷 수.

식(3)의 x_i 는 센서 노드가 모바일 싱크로 전송한 패킷의 수이고 n 은 전체 센서 노드의 수이다.

그림 7은 각 스케줄링 기법에 따라 모바일 싱크가 수신한 패킷의 수를 나타낸 것이고 그림 8은 수신 패킷 수의 합, 그림 9는 fairness index를 나타낸 것이다.

그림 7에서 FCFS와 EDF 스케줄링은 모바일 싱크가 처음으로 만나게 되는 1~10번 센서 노드들에게서만 많은 데이터를 수집하고 11~50번 센서 노드들에서는 데이터를 거의 수집하지 않는다. 이것은 FCFS와 EDF 모두 센서 노드가 가진 전체 데이터 (100packet)를 전송한 후 재 스케줄링을 하기 때문이다. 결과적으로 1~10번 센서 노드에게 많은 시간을 할당하기 때문에 그 이후의 센서 노드들은 데이터를 전송할 수 있는 시간이 상대적으로 줄어들게 된다.

그림 8에서 FCFS와 EDF, RR, EAEDF 는 각각 900, 400, 950, 1200 packet 의 데이

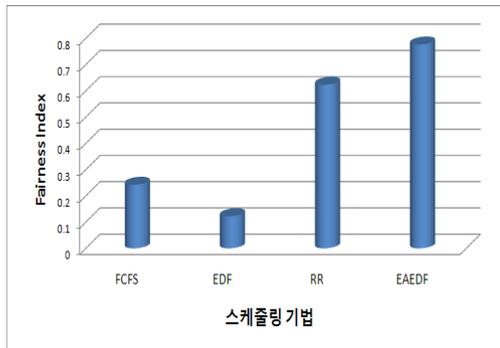


그림 9. 스케줄링 기법 별 fairness index.

터를 수신하였다. FCFS와 RR, EAEDF는 약간의 차이는 있지만 비슷한 데이터양을 수신하였다. 하지만 EDF는 상대적으로 적은 데이터를 수신하였는데 이는 모바일 싱크의 통신 범위 안에 머무르는 시간이 가장 짧은 센서 노드에게 우선순위를 가장 높게 계산하기 때문이다. 상대적으로 모바일 싱크와 거리가 멀어 질수록 센서노드가 모바일 싱크의 통신 범위안에 머무르는 시간이 짧아지게 되는데 통신 거리가 멀어지면 통신 에러도 증가하기 때문에 EDF는 결과적으로 데이터를 적게 수신하게 된다.

그림 9에서 FCFS, EDF, RR에 비해 EAEDF의 fairness index가 가장 높게 나타남을 알 수 있다. FCFS나 NEDF는 한 센서 노드에게서 전체 데이터를 수신하거나 모바일 싱크 범위 밖으로 벗어났을 경우 새로운 센서 노드에게 데이터 요청을 하기 때문에 여러 노드에게 균등한 데이터 전송 기회를 부여하지 못한다. RR은 FCFS나 EDF에 비해 낮은 표준편차를 보이는데 이것은 RR의 특성상 모바일 싱크의 통신 범위 안에 있는 센서 노드를 단위 시간 동안만 데이터를 수신 받고 다시 차례로 순회하며 데이터를 수신하기 때문이다. 하지만 여전히 수신한 데이터와 통신 에러를 고려하지 않아 EAEDF에 비해 균등한 데이터를 전송받지 못하고 있다.

VI. 결론 및 향후 계획

센서 네트워크의 수명을 증가시키기 위해 최근 모바일 싱크를 이용한 데이터 수집 방법이 크게 증가하고 있다. 하지만 센서 노드

로부터 데이터를 수신 받는 순서나 방법에 대한 스케줄링 연구가 이루어 지지 않았다. 본 논문에서는 싱글 홉 센서 네트워크에서 모바일 싱크를 위한 효율적 데이터 수집 스케줄링 방식인 EAEDF를 제안하고, 시뮬레이션을 통해 여러 스케줄링 기법들과 비교하여 균등한 데이터 수집을 검증하였다.

향후에는 싱글 홉 통신이 아닌 멀티 홉 통신에서 각 센서 노드에게 균등한 데이터 전송을 위한 스케줄링 기법에 대해 연구할 계획이다.

참고문헌

- [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] 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.
- [3] J Jeong, C. T Ee, "Forward Error Correction in Sensor Networks", Report of Berkeley, 2003
- [4] G. C. Buttazzo, "Hard Real-Time Computing Systems: Predictable Scheduling Algorithms and Applications", Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [5] 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.
- [6] M. Demmer and P. Levis, "Tython scripting for TOSSIM", Network Embedded Systems Technology Winter, 2004.
- [7] R. Jain, A. Duresi, "Throughput Fairness Index : An Explanation," ATM Forum, 99-0045, Feb., 1999.