

# 무선 센서 네트워크 환경에서 공정성 향상을 위한 새로운 패킷 전송 구조

## A New Packet Forwarding Architecture For Fairness Improvement in Wireless Sensor Network

\*송병훈, \*\*이형수, \*\*\*함경선

\*Byunghun Song, \*\*Hyung Su Lee, \*\*\*Kyungsun Ham

**Abstract** - In wireless sensor networks, fair allocation of bandwidth among different nodes is one of the critical problems that affects the serviceability of the entire system. Fair bandwidth allocation mechanisms, like fair queuing, usually need to maintain state, manage buffers, and perform packet scheduling on a per flow basis, and this complexity may prevent them from being cost-effectively implemented and widely deployed. It is a very important and difficult technical issue to provide packet scheduling architecture for fairness in wireless sensor networks. In this paper, we propose a packet scheduling architecture for fairness in wireless sensor networks, called FISN (Fairness Improvement Sensor Network), that significantly reduces this implementation complexity yet still achieves approximately fair bandwidth allocations. Sensor node for sensing estimate the incoming rate of each sensor device and insert a label into each transmission packet header based on this estimate. Sensor node for forwarding maintain no per flow state; they use FIFO packet scheduling augmented by a probabilistic dropping algorithm that uses the packet labels and an estimate of the aggregate traffic at the gathering node. We present the detailed design, implementation, and evaluation of FISN using simulation. We discuss the fairness improvement and practical engineering challenges of implementing FISN in an experimental sensor network testbed based on ns-2.

**Key Words** : sensor network, fairness, congestion control, packet forwarding

### 1. 서론

최근 유비쿼터스(ubiquitous) 컴퓨팅 객체의 주요 통신 플랫폼은 인터넷 보다는 RF 인터페이스나 블루투스나 같은 근거리무선통신기술로 발전해 가고 있는 특징을 보인다. 특히 유비쿼터스 컴퓨팅 분야에서 이러한 특징을 가장 강하게 보이고 있는 분야가 바로 무선 센서 네트워크, WSN (Wireless Sensor Network)이다. 센서 네트워크는 협소한 지역 (micro scope)을 관찰, 측정 하고 이러한 측정 데이터를 기반구조 (infrastructure)가 없는 환경, 즉 ad-hoc 환경에서 데이터를 전달하는 기술을 말한다 [1][2][3].

WSN 환경에서는 많은 노드들이 분산되어 있고, 동시다발적인 트래픽의 집중 현상이 자주 발생된다. 예를 들어 온도 감지나 유량의 변화를 측정하는 응용에서는 이러한 현상이 더욱 잘 나타나기 때문에 이러한 환경에서는 측정된 데이터의 집중으로 인한 혼잡상황과 네트워크의 유연성 문제 해결이 더욱 중요하게 대두된다. 혼잡상황 문제는 한정된 네트워크 자원 환경에서 과밀된 패킷의 집중으로 인한 전송률 저하

문제로, 특히 무선 환경 같은 간섭으로 인한 노이즈가 전송률 및 전송 성공률에 민감하게 작용하는 환경에서 더욱 중요한 문제로 나타난다. 또한 네트워크의 유연성 문제는 ad-hoc 네트워크를 구성하는 많은 노드들 중에 특정 노드들의 sub-tree에서 과중한 혼잡상황이 발생하여 그 지점의 하위 노드들이 모두 root 노드에 제대로 데이터를 전송하지 못하는 것과 같은 망의 불안정성 말한다.

이러한 문제들의 근본적인 원인은 현재의 WSN 노드들의 패킷 전송 방법에서 찾을 수 있다. 즉, 현재의 WSN은 한정된 센서 네트워크의 자원을 고려할 수 있는 구조가 없다. 일반적으로 공정 큐잉 (Fair Queueing) 기법은 이러한 문제를 가장 이상적으로 해결할 수 있는 방법으로서 네트워크에서 혼잡상황의 해결을 유도하면서도 망의 유연성을 보장할 수 있는 기법이다. 그러나 WSN 환경에서 공정 큐잉과 같은 기법을 구현하여 사용 한다는 것은 제한된 메모리 자원을 고려할 때 현실적으로 매우 어려우며, 설정 메모리 자원이 충분하여 구현할 수 있다고 할지라도 공정 큐잉이 갖는 패킷 처리 overhead로 인해 성능이 매우 낮아지는 더 큰 문제를 갖게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점들을 고려하여 공정성을 향상시킬 수 있는 새로운 패킷 전송 구조를 제안하였으며, 제안한 구조를 실험을 통하여 검증 하였다.

### 저자 소개

- \* 송 병 훈 : 전자부품연구원 유비쿼터스 컴퓨팅연구센터
- \*\* 이 형 수 : 성균관대학교 정보통신공학과
- \*\*\*함 경 선 : 전자부품연구원 유비쿼터스 컴퓨팅연구센터

## 2. 관련 연구

### 2.1 WSN (Wireless Sensor Network)

기존의 WSN 환경은 네트워크 자원의 효율적인 분배와 같은 문제에는 소극적이었다. 반면 ad-hoc 환경을 위한 라우팅과 같은 문제에는 많은 관심을 보여 왔다. 그러나 센서 노드의 숫자가 점점 많아져가고 WSN의 유연성이 중요한 이슈로 등장하면서 네트워크 자원의 공정성과 이를 통한 혼잡 제어에 많은 연구들이 진행되고 있는 실정이다. 본 논문에서 가정한 WSN은 기본적으로 many-to-one 구조의 tree 형태의 마이크로(micro) ad-hoc 네트워크이다. 특히 본 네트워크는 센싱(sensing) 디바이스를 장착하고 상위 센서 노드로 측정된 데이터를 전송하는 노드와 이러한 데이터들을 인접 노드로 발송(forwarding)하는 노드들로 구성되어 진다.

### 2.2 WSN의 불공정성 문제 (Unfairness Problem)

WSN 환경에서 나타나는 네트워크 자원의 불공정 문제란 그림 1과 같은 환경으로 설명할 수 있다. 그림 1의 (a)는 기본적인 WSN의 설정을 나타낸다. 노드 1, 2는 센싱용 센서 노드로서 각각의 센싱 디바이스로부터 측정된 데이터를 상위 노드인 노드 0로 전송하게 된다. 반면 그림 1의 (b)는 이때의 전송률의 상태를 보여준다. 즉, 그림 1의 (a)에서 전송된 데이터가 노드 0로 전송될 때 전송 되는 트래픽은 노드 0에 가까울수록 또한 먼저 도착할수록 높은 전송률을 보이게 된다. 이것은 기존의 WSN 노드에서 제공하는 패킷 전송 기법인 기존의 FIFO (First-In First-Out)의 특성을 그대로 지니기 때문에 공정성과 같은 문제에 대한 고려가 없다. 그러므로 실제 많은 센서 노들이 공존하는 WSN 환경에서는 특정 sub-tree의 불공정성 문제가 자주 유도 된다 [4][5].

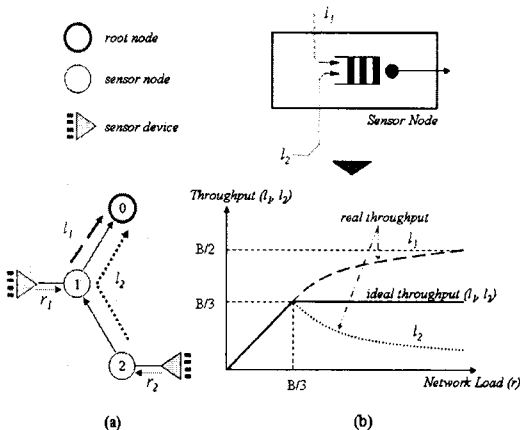


그림 1. WSN에서의 불공정성 문제

## 3. 새로운 패킷 전송 구조

### 3.1 FISN의 구조

본 논문에서 제안한 새로운 패킷 전송 구조를 FISN (Fairness Improvement for Sensor Network)이라 부른다. 제안한 FISN은 센싱을 위한 센서 노드, SNS (Sensor Node for Sensing)와 발송을 위한 센서 노드, SNF (Sensor Node for Forwarding)로 구분된다. 이러한 구분은 논리적인 기능의

차이로 실제 물리적인 구분은 아니다. 즉, SNS는 SNF의 기능을 포함하고 있기 때문에 SNS의 기능을 수행하면서도 다른 하위 노드들로 오는 데이터를 상위 노드로 전달하기 위한 기능인 SNF 기능을 수행할 수 있다. 본 논문에서 두 가지 기능으로 센서 노드를 구분한 이유는 각각의 기능에 적합한 동작을 가정하고 최적의 성능을 낼수 있는 구조를 제안하기 위함이다.

FISN은 그림 2와 같은 구조를 가진다. 앞서 설명한 대로 FISN은 기본적으로 SNS의 구조를 가진다. 그러나 기능에 따라서 전달 기능만이 필요할 때는 SNF로만 동작하게 된다. 각각의 기능은 다음과 같다. 그림 2의 sensor device는 온도, 습도, 조도와 같은 측정용 디바이스를 말한다. 각각의 측정 데이터는 rate estimator를 통해 센싱되는 디바이스의 측정 빈도 및 데이터의 크기를 알게 된다. 이러한 센싱 패킷에 대한 정보는 packet labeling 과정을 통해 측정 패킷의 헤더에 추가되게 된다. 이때 가입되는 패킷의 구조는 3.2절에서 자세히 설명하겠다. SNS에서는 이렇게 측정된 자신의 센싱 패킷과 하위 SNS에서 전달받은 측정 패킷을 상위 노드로 전달할 때 정해진 네트워크 자원에 따른 최적의 공정률(fair share)을 구하게 된다. 공정률값은 제한된 자원을 가질때 경쟁하는 인접 노드들끼리의 혼잡 상황을 줄이고, 최적으로 네트워크 자원을 분배하는 기준이되는 값을 말하며 각각의 노드들의 공정률값은 각각의 마킹된 패킷 헤더에 따라 다르게 결정된다. 이때 공정률은 각각의 측정 패킷 헤더에 가입된 하위 노드들의 ID의 통해 전달하려는 노드들의 개수를 구하게 된다. 이렇게 구해진 공정률은 SNS에 전달된 패킷을 처리 할 때의 기준 값이 된다. 즉 전달받은 측정된 패킷의 값이 공정률 값보다 크면 큰 만큼의 패킷은 패기(drop)하게 되고, 반면에 공정률 값보다 작으면 전달하려는 모든 패킷을 수용하게 된다.

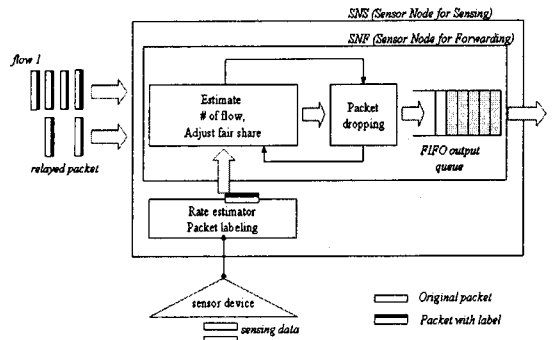


그림 2. FISN의 구조

FISN 구조에서 중요한 것은 다양한 측정 패킷의 큐잉을 결국은 단 하나의 제한한 FIFO 큐잉을 이용하여 해결한다는 것이다. 이것은 WSN 환경의 노드들이 제한된 리소스를 가지고 있다는 점을 중요하게 고려한 것으로서, 비록 하나의 FIFO를 사용하지만 SNS 노드에서 패킷을 전송할 때 특정한 추가 정보를 헤더에 적재하여 전달해 주기 때문에 전송 기능도 수행하는 SNS에서 빠르게 공정률 값을 구할 수가 있게 되며, 결국은 이를 통해 최적의 네트워크 자원을 할당 할 수 있게 된다. 물론 센싱 디바이스가 동작하지 않는 노드는 자동적으로 SNF의 기능만을 수행한다고 할 수 있다.

### 3.2 측정 패킷의 구조

SNS에서 전달하는 측정 패킷의 구조는 그림 3과 같다. 그림 3에서 SN ID는 각각의 노드들에 부여된 유일한 숫자를 의미한다. 이 값은 상위 SNS와 SNF에서 공정을 값을 구할 때 사용된다. 즉 이 값을 이용하면 몇 개의 노드들에게 네트워크 자원을 분배해야 하는지를 알 수 있다. label 값은 SNS의 rate estimator에서 측정된 패킷의 양을 의미한다. 이 값을 전달 기능을 수행하는 SNS나 SNF에서 공정을 값을 빠르게 구하기 위해 사용한다. payload 부분의 데이터는 상위 노드에서 필요에 따라서 적절한 패킷을 선택하여 적재한 실제 데이터의 값이다. 예를 들어 온도 측정 응용에서 최고 온도 값과 평균 값, 그리고 순간 변화량을 선택했다고 하면 이 값을 각각의 노드에서 전달될 때마다 적절한 값들로 변경되면서 전달할 수 있게 된다.

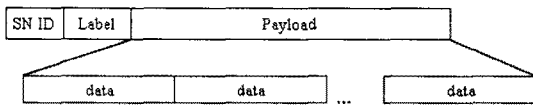


그림 3. 측정 패킷의 구조

## 4. 성능 평가

### 4.1 실험망의 구성

WSN 환경에서 제안한 FISN을 통한 공정성 향상을 검증하기 위해서 그림 4와 같은 실험망을 이용하였다. 본 실험망은 총 10개의 센서 노드들로 구성되어 있으며 각각의 노드들은 센싱과 포워딩 기능을 각각 수행한다. 기본적인 시나리오는 노드 9, 8, 7과 같은 하위 노드들이 상위 노드들에게 각각의 센싱 정보를 전달하게 되는 전형적인 may-to-one의 구조이다. 본 알고리즘은 우선 ns-2를 기반으로 검증하였으며 KETI (Korea Electronics Technology Institute)에서 개발한 센서 네트워크용 Mote인 TIP보드에서도 구현하여 실험 되었다.

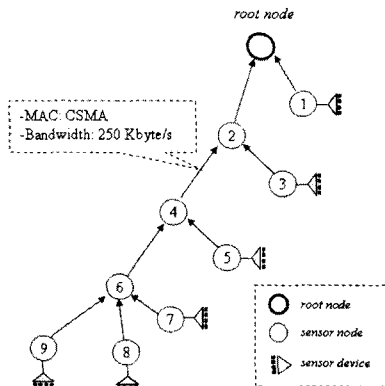


그림 4. 실험망의 구성

### 4.2 성능 평가

본 절에서는 그림 4와 같은 실험망에서 다양한 센서들이 데이터를 전송할 때 제안한 FISN의 성능의 변화를 측정하였다. 그림 5에서 처럼 기존의 센서 네트워크 노드들에 구현된 FIFO는 센싱 노드의 데이터들이 차츰 증가해감에 따라 심각

하게 공정성이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 또한 기존의 FIFO 기법은 네트워크의 상태가 점점 포화 상태가 되어 감에 따라 혼잡상황과 망의 유연성에 심각한 특성을 나타내게 된다. 특히 과밀된 노드가 동시에 여러 측정 패킷을 전송하게 될 경우 최악의 상황에서는 전체 노드의 측정 패킷이 모두 폐기 될 수 있는 경우도 생기게 된다.

그러나 본 논문에서 제안한 FISN 기법은 기존의 방법과 비교할 때 매우 우수한 공정성의 향상을 보인다. 특히, 본 논문에서는 패킷 전송을 위한 이상적인 공정성 기법인 DRR (Deficit Round Robin)과 비교하여도 크게 떨어지지 않는 우수한 특성의 공정성을 보이면서도 WSN과 같은 제한된 리소스를 갖는 환경에서 DRR에 비하여 훨씬 간단하게 구현하여 적용할 수 있다는 큰 장점을 가진다.

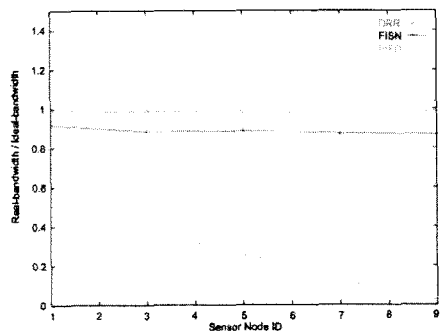


그림 5. 공정성의 비교

## 5. 결론

본 논문에서는 WSN 환경에 적합한 새로운 패킷 전송 구조인 FISN을 제안하고 구현하였다. 공정성은 근본적으로 한정된 네트워크의 자원에서 혼잡 상황을 개선시키고 망의 유연성을 유지 시킬 수 있는 주요 요소이다. 특히 많은 센서 노드들로 구성된 WSN 환경에서는 공정성이 서비스의 안정성 및 유연성에 매우 중요한 요소가 된다. 그러므로 본 논문에서 제안한 구조가 향후 WSN 환경의 확장성에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] P. Gupta and P. Kumar, "The capacity of wireless networks," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 46, no. 2, Mar. 2000.
- [2] S. Capkun, M. Hamdi, and J. Hubaux, "GPS-free positioning in mobile ad-hoc networks," in Proc. of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, Jan. 2001.
- [3] B. Schrick and M. Riezenman, "Wireless broadband in a box," IEEE Spectrum Magazine, June 2002.
- [4] M. Subbarao, "Dynamic power-conscious routing for MANETS: an initial approach," in IEEE Vehicular Technology Conference, 1999.
- [5] E. Royer and C. Toh, "A review of current routing protocols for ad-hoc mobile wireless networks," IEEE Personal Communications, Apr. 1999.