

# 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 데이터 전송과 혼잡 제어를 위한 프로토콜

## A Protocol for Reliable Data Transfer and Congestion Control in Wireless Sensor Networks

김 현 태, 주 영 훈, 나 인 호\*  
(Hyun Tae Kim, Young Hoon Joo, and In Ho Ra)

**Abstract** : Generally, huge amounts of data traffic are generated by using broadcasting method to deliver sensing data to a sink node reliably so that it makes a severe network saturation problem resulting in unreliable data transfer. In order to handle this problem, a new congestion control protocol is required for supporting reliable data transfer, minimal use of energy and network resources at the same time in wireless sensor networks. In this paper, it proposes a Protocol to guarantee both a reliable transfer in data accuracy and minimum consumption of energy waste by using Hop-by-Hop sequence number and DSbACK(Delayed and Selective ACK, Buffer Condition) scheme. In addition, it proves that reliability and energy efficiency are enhanced by the proposed method with the simulation results performed on TinyOS platform which is a component based built-in OS announced by UC Berkely with the performance comparison of other existing methods.

**Keywords** : wireless sensor networks, congestion control protocol, Hop-by-Hop sequence number, DSbACK

### I. 서론

무선 센서네트워크는 최근 대두되고 있는 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing)의 연구에 힘입어, 광범위하게 설치되어 있는 유·무선 네트워크 인프라에 상황인지를 위한 다양한 센서 디바이스를 결합하여 감지된 환경데이터를 응용서비스서버와 연동하는 기술이다[1]. 온도센서와 같은 표준 센서와 다른 점은 바로 지능형 클러스터에서의 상호 연결성과 집단적으로 데이터를 수집·처리하는 능력이다. 이 기술을 사용하여 재난방제, 환경감시, 지능형 물류관리, 실시간 시큐리티, 모바일 헬스 케어(health care) 등에 적용을 시도하고 있다. 무선 센서네트워크는 대규모 숫자의 노드가 광범위한 지역에 감시임무를 위해 무작위로 배포되고 센서를 통해 감지된 데이터는 네트워크 내부에서 데이터 처리를 통해 보다 상위에서 이벤트로 변환된 후 원격의 관리자에게 전달된다. 이때 저가, 저전력의 단일 홉(single-hop) 혹은 멀티 홉(multi-hop) 무선 네트워크를 통해 데이터가 전송된다[2].

이러한 특성 때문에 기존 무선 센서네트워크의 설계에 대한 연구는 주로 네트워크 생존시간을 증가시키기 위한 전력 소모를 줄이는 것을 고려하였지만, 실제 응용에서는 최종 사용자에게 노드에서 감지한 정보를 신뢰적으로 전달하는 것이 가장 중요하다. 왜냐하면 전송에 실패한 경우 송

수신에 사용된 에너지의 낭비를 의미하고 여러 노드에 걸쳐 성공적으로 전송된 패킷(packet)이 기지국 노드에 전달되기 전에 유실되면 그때까지 패킷을 전송하는데 사용된 에너지가 낭비된 것이기 때문이다. 하지만 이러한 신뢰도를 유지하기 위한 노드들의 전송은 혼잡을 발생시킬 수 있다. 혼잡이 발생하게 되면 결과적으로 신뢰도를 저하시키는 요인이 된다[3].

본 논문에서는 이러한 무선 센서네트워크의 특성을 고려하여 데이터의 신뢰성 있는 전송을 보장하고 혼잡을 최소화 하여 에너지 소비를 절감하고 네트워크의 성능을 향상시키는 기법을 제안한다. 이 기법은 Hop-by-Hop 순서 번호, DSbACK(Delayed and Selective ACK, Buffer Condition)을 사용하여 신뢰성 있는 무선 데이터 전송을 보장하고 불필요한 전송을 최소화하기 위한 에너지 절약형 혼잡 제어 기법을 제안하여 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 전송을 기반으로 한 혼잡 제어가 이루어 질 수 있도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 기존 연구 및 문제 정의에 대해 기술하고, 3장에서는 제안된 기법의 특징, 기능 및 동작 과정에 대해 기술한다. 4장에서는 TinyOS를 이용한 시뮬레이션을 통하여 기존 기법과 제안된 기법의 성능분석 결과를 비교하여 기술하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

### II. 기존 연구 및 문제 정의

무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 전송과 혼잡 제어 기법은 네트워크 성능 및 서비스품질을 좌우하는 중요한 기술이다. 일반적으로 무선 센서 네트워크에서는 신뢰성 있는 전송을 제공하기 위해 센서의 통신 횟수를 감소시켜 한 정되어 있는 에너지의 소비를 절감하는 NACK 기반의

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 12. 15., 채택확정 : 2007. 2. 5.

김현태 : 전북대학교 전자정보공학부 POST BK21 연구원  
(camelk@kunsan.ac.kr)

주영훈, 나인호 : 군산대학교 전자정보공학부  
(yhjoo@kunsan.ac.kr/ihra@kunsan.ac.kr)

※ 이 논문은 2006년도 군산대학교 교수장기해외연수지원경비의 지원에 의하여 연구되었음.

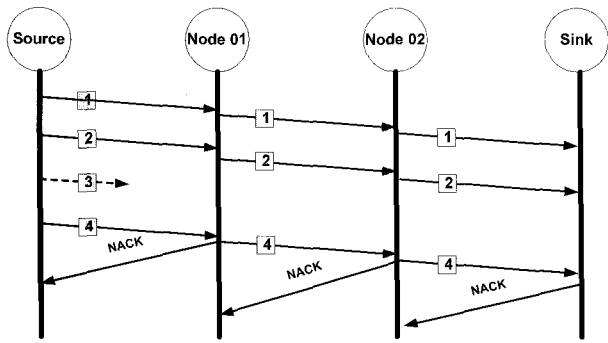


그림 1. NACK 기반의 혼잡 제어 흐름.  
Fig. 1. NACK-based congestion control process.

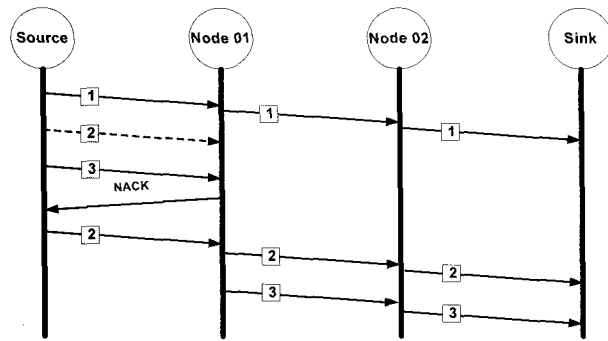


그림 2. PSFQ의 혼잡 제어 흐름.  
Fig. 2. Congestion control process of PSFQ.

End-to-End 피드백 기법을 사용하고 있다. 그러나 그림 1과 같이 패킷 손실 문제를 해결하기 위해 싱크로부터 소스까지 End-to-End 전송 경로에 위치한 중간 노드간의 수많은 홉간 NACK는 실질적으로 손실 패킷의 재전송과는 관련 없는 불필요한 트래픽을 유발하여 네트워크 부하를 증가시키는 문제점을 지니고 있다. 이러한 불필요한 전송은 소스(source)에서 싱크(sink) 간의 전송경로를 구성하는 중간 노드의 수가 증가할수록 더욱 더 비효율적인 전송이 되도록 한다.

이러한 문제를 해결하기 위한 제안된 바 있는 PSFQ 프로토콜은 “느린 전송(pump slowly), 빠른 복구(fetch quickly)”라는 전략을 사용함으로써 패킷 오류가 발생하면 오류가 복구될 때까지 데이터를 다음 노드로 전송(relay)하지 않고 버퍼에 대기시킨 다음, 손실된 패킷이 완전히 복구되면 다음 노드로 전송하는 방식을 사용하고 있다[4]. 그러나 이 기법은 전체 End-to-End 레벨이 아닌 중간 노드 레벨에서의 재전송 요구를 통하여 NACK 신호 전송을 위한 불필요한 트래픽을 제거함과 동시에 즉각적인 패킷 복구를 통해 손실된 패킷에 대한 복구를 빠르게 할 수 있지만 손실패킷 이후에 전송된 데이터가 중간 노드에서 전송되지 못하고 지연됨으로써 실제적으로는 전체 데이터 전송시간이 길어지고 중간 노드에서 버퍼 오버플로우가 발생할 가능성이 높다는 문제점이 있다. 그림 2는 PSFQ의 혼잡 제어 흐름을 나타낸 것이다.

또한, 기존에 제안된 CODA 프로토콜은 채널 상태, 버퍼

상태, 패킷의 도착시간 등을 적용한 혼잡 제어 기법을 사용하고 있다. 이 기법은 수학적 모델링을 통해 채널 로딩 상태를 계산하여 혼잡 여부를 판단하기 때문에 정교한 혼잡 제어를 수행할 수 있지만 채널 로딩 상태를 파악하기 위한 에너지 소비가 높다는 문제점을 지니고 있다[5].

또한, CODA의 계산 복잡성을 개선한 SenTCP에서는 패킷의 평균 서비스 시간과 평균 도착 시간으로 혼잡 정도를 판단하는 간단한 계산 방식을 사용하여 계산 복잡성을 줄일 수 있도록 하였다. 이 기법은 채널 로딩을 이용한 혼잡 제어 기법에 비해 다소 정확성은 떨어지지만 에너지 소비 측면에서 높은 효율성을 제공할 수 있다[6].

이와 같이 기존에 제안된 기법들의 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 혼잡 제어로 인한 전송지연 시간의 증가를 억제하고 계산의 복잡성을 축소할 수 있는 홉 기반의 신뢰성 있는 혼잡 제어 기법을 설계하였다. 특히, 무선 센서 네트워크 안에 한정되어 있는 전력 에너지를 효율적으로 이용하기 위해 홉 간의 순서 번호, 지연 및 버퍼 상태 정보(DSbACK)를 포함한 피드백 신호를 통하여 신뢰성 있는 전송이 이루어 질 수 있도록 하였다.

### III. 신뢰성 있는 데이터 전송과 혼잡 제어

본 장에서는 제안된 기법의 기본 개념을 설명하고 세부적인 프로토콜 동작과정 및 의사코드를 기술하고 특히, End-to-End 순서 번호에 Hop-by-Hop 순서 번호를 추가하고 DSbACK 기반 피드백 신호를 통하여 전송 및 혼잡을 제어하는 방법에 대해 기술한다.

#### 1. Hop-by-Hop 순서 번호

무선 센서 네트워크는 무선 전송의 특성상 링크에서의 에러가 발생할 확률이 높기 때문에 End-to-End 전송 제어 기법을 사용하는 것은 전송 지연 증가, 패킷 손실 등의 원인으로 인하여 네트워크 성능이 저하된다.

본 논문에서는 신뢰성 있는 전송 제어를 통해 무선 센서 네트워크의 전송 속도를 향상시키기 위해 그림 3과 같이 End-to-End 순서 번호와 Hop-by-Hop 순서 번호를 쌍으로 사용하여 홉 단위에서 패킷 손실에 대한 복구처리를 수행하는 기법을 제안하였다.

End-to-End 순서 번호는 소스 노드에서 싱크 노드로 전송하는 패킷의 종단간 순서 번호로서 순서화 되지 않은 메

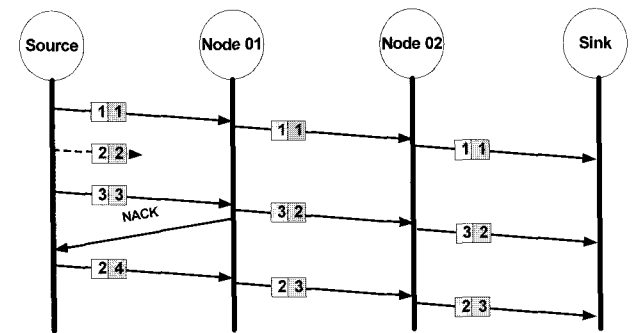


그림 3. Hop-by-Hop 순서 번호를 이용한 전송 제어 순서.  
Fig. 3. Transmission control using Hop-by-Hop sequence number.

시지를 최종 노드에서 재조립할 수 있게 하며, Hop-by-Hop 순서 번호는 각 홉 사이에서만 사용되는 순서 번호로서 이것에 의해 중단간 오류 복구과정에서 발생하는 불필요한 재전송 요구를 줄일 수 있으며, 수신된 패킷을 다음 노드로 즉시 전송할 수 있을 뿐만 아니라 오류가 발생한 패킷만을 이전 노드에게 재전송 요청함으로써 패킷의 전송 지연을 줄일 수 있다.

2. DSbACK 기반의 혼잡 제어

제안된 기법에서는 오류 복구 및 혼잡 제어를 위해 편승 전송(piggyback)방식을 사용하여 DSbACK 피드백 신호를 선행 노드에 전송한다. DSbACK 신호에는 버퍼 점유 상태, 패킷 손실 범위 등의 정보가 포함된다. 즉, DSbACK는 혼잡 제어를 위한 정보(버퍼 점유 상태)와 오류 복구를 위한 재전송 요구 패킷 정보를 하나의 피드백 메시지로 전송하여 홉 단위의 통신 횟수를 줄이는 역할을 담당하며, 이로 인하여 결과적으로 센서 노드의 전송 비용을 절감하고 무선센서 네트워크에서 전송을 위해 소요되는 에너지의 효율을 향상시키는 효과를 얻게 한다.

DSbACK는 손실 범위와 버퍼 상태정보를 포함하고 있으며 이 메시지를 전송하는 시기는 다음과 같이 결정된다. 1) 손실된 패킷이 도착하였을 경우, 2) 시간초과(timeout)가 발생하였을 경우, 3) 버퍼 값이 임계치(threshold) 값을 넘었을 경우. 이러한 경우 이전 노드로 DSbACK 메시지를 전송함으로써 오류복구와 혼잡 제어를 동시에 수행하도록 한다. 그림 4는 DSbACK 메시지를 이용한 전송 제어 순서를 나타낸 것이다.

DSbACK 메시지는 지연되어 도착하는 패킷에 관한 정보를 제공하여 소스 노드의 전송률을 조정하고 버퍼에 캐싱되어 있는 패킷들을 삭제하는데 사용된다. 또한, 전송 과정에서 패킷이 손실되었거나 버퍼 오버플로우 발생으로 패킷이 폐기되었을 경우, 이러한 패킷에 관한 정보를 제공한다. 이 메시지는 패킷에 대한 정보뿐만 아니라 버퍼의 상태 정보를 소스 노드에 피드백 함으로써 소스 노드가 전송 속도

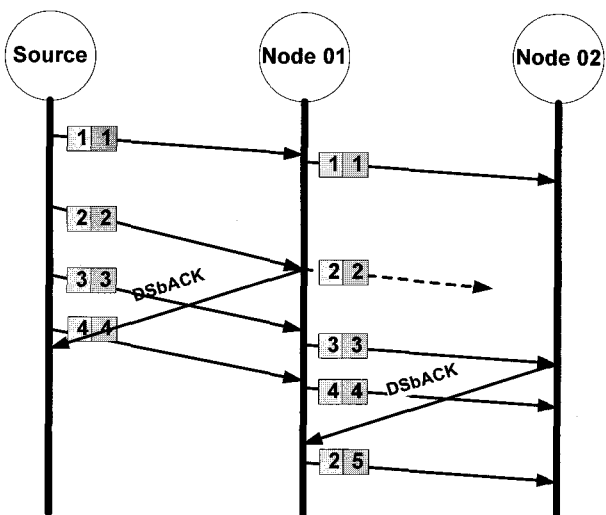


그림 4. DSbACK 메시지를 이용한 전송 제어 순서.  
Fig. 4. Transmission control using DSbACK messages.

를 조정하여 사전에 혼잡을 제거할 수 있도록 한다. 제안된 프로토콜에서는 DSbACK 메시지를 통해 혼잡 상태를 감지하면 전송률을 지속적으로 감소시키고 추후 혼잡이 감소하면 전송률을 선형적으로 증가시키는 전송률 제어 방식을 적용하였다.

IV. 실험 및 결과 고찰

본 장에서는 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 혼잡 제어 기법의 성능을 평가하기 위해 UC 버클리에서 개발된 컴포넌트 기반의 내장형 운영 체제인 TinyOS[7]를 윈도우 기반 환경에서 실행하였다. 또한 TinyOS에서 제공하는 센서 네트워크 시뮬레이터 TOSSIM[8] 과 프로그램 언어로는 컴포넌트 기반의 nesC[9]를 사용하였다. 실험 결과를 통하여 에러 발생률이 높은 무선 센서네트워크에서 제안된 기법이 신뢰성 있는 데이터 전송과 혼잡제어를 위해 유용하게 사용될 수 있음을 보였다.

1. 실험환경

제안된 기법의 성능측정을 위해 무선 센서 네트워크 토폴로지는 그림 5과 같이 4 X 4 그리드 형태로 구성하였고 사용된 파라미터는 표 1과 같다.

2. 결과 고찰

성능 평가를 위한 시뮬레이션의 주된 목적은 센서 네트워크에서 저 전력 에너지 소비 기반의 신뢰성 있는 데이터 전송을 위해 메시지 전송 횟수를 감소시켜 에너지 소비를

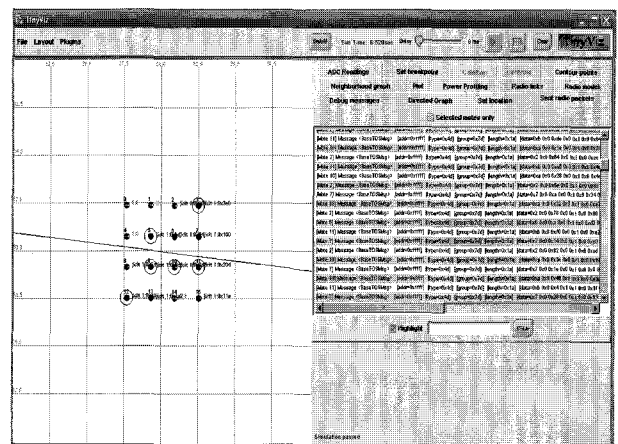


그림 5. TinyViz로 나타낸 그리드 네트워크.

Fig. 5. Grid network by TinyViz.

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

Table 1. Simulation parameters.

구분	적용
노드 수	16개(4 X 4 grid network)
싱크	1개(고정)
전송 패킷	500~1500Byte
버퍼 크기	1~10(패킷 저장)
재전송 메시지형태	DSbACK
순서 번호	2Byte(E2E, HbH 순서 번호)

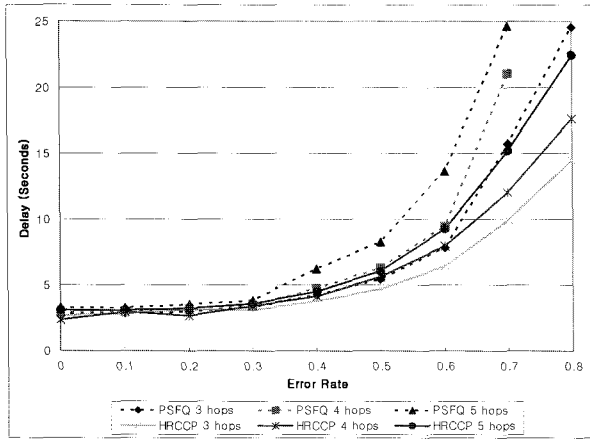


그림 6. 에러율 증가에 대한 전송 지연 정도 (기준 : 네트워크 크기).

Fig. 6. Transfer delay to error rate in increasing.

절감하는 것과 무선 센서 네트워크에서 혼잡 및 에러가 발생하였을 경우 이것들을 제어하는데 있어 제안된 기법의 효율성 여부를 측정하는데 있다.

전송 지연은 데이터가 네트워크의 한 노드에서 다른 노드까지 이동할 때 소요되는 시간을 의미한다. 이것은 네트워크 성능저하 여부를 판단하는 기준으로 사용되고 있다.

첫 번째 실험은 네트워크 크기의 증가에 따른 메시지 전송 지연 정도를 분석하여 제안된 기법의 성능을 평가한 것이다.

그림 6에 나타난 것과 같이 채널의 에러율이 40%를 초과하면 전송지연이 지수적으로 증가하고, 네트워크 크기가 커질수록 전송지연 또한 크게 증가된다. 만약, 네트워크에 전송에러가 발생하지 않으면 전송지연 시간은 네트워크 크기에 영향을 받지 않지만 그렇지 않을 경우 즉, 에러율 및 네트워크 크기가 증가할 때에는 전송 지연이 지수적으로 증가되는 것을 의미한다. 그림 4를 통해 제안된 기법이 PSFQ 기법에 비해 더 낮은 전송 지연 증가율을 제공할 수 있음을 의미한다. 그러나 두 가지 기법 모두 채널 상의 에러율이 40% 이상일 때 네트워크 크기가 커질수록 전송 지연이 큰 폭으로 증가하는 문제점을 가지고 있다. 즉, 제안된 기법이 PSFQ 기법에 비해 빠른 전송을 제공할 수 있지만 두 가지 기법 모두 네트워크 크기가 큰 지역에는 적합하지 않다는 것을 나타낸다.

무선 센서네트워크에서 대부분의 에너지는 패킷을 전송하는데 소비된다. 두 번째 실험은 무선 센서 네트워크의 에너지 효율 증대를 위해 에러검출 및 복구, 혼잡제어를 동시에 수행함으로써 제어 메시지의 전송 횟수를 감소시키고 오버플로우로 인한 패킷 손실률을 줄여 에너지 낭비를 막을 수 있는지를 측정하기 위한 것으로서 시간의 흐름에 따른 전송제어 메시지의 전송 횟수 측정을 통해 제안된 기법의 성능을 평가한 것이다.

그림 7에서 나타난 것과 같이 NACK 메시지와 혼잡 제어 메시지를 혼용하는 경우보다 DSbACK 메시지를 사용하

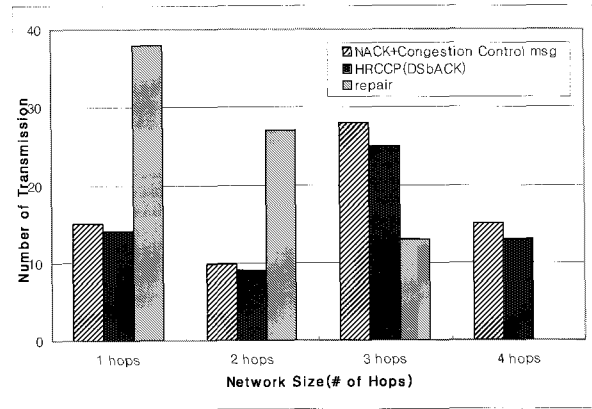


그림 7. 제어 메시지 전송 수 비교.

Fig. 7. Comparison of the number of control messages.

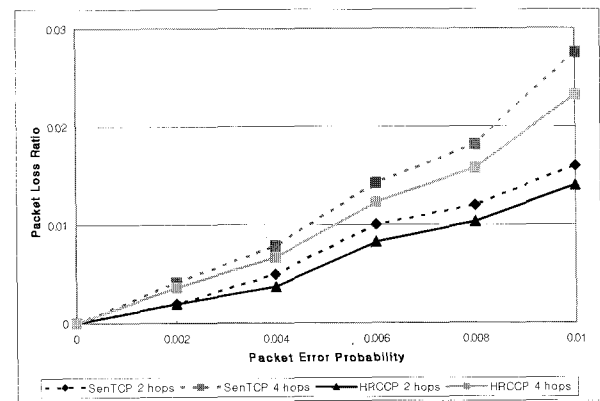


그림 8. 패킷 오류율에 대한 패킷 손실률 (기준: 네트워크 크기).

Fig. 8. Packet loss rate to PER.

는 경우에 메시지 전송 횟수가 크게 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한, 그림 5를 통해 홉 수가 늘어날 때 오히려 repair 메시지의 전송 횟수가 점점 감소하는 것을 볼 수 있는데 이것은 Hop-by-Hop 기반의 전송 및 에러복구 기법을 통해 전송에러가 다음 홉으로 전달되지 않게 함으로써 repair 메시지의 수가 줄어드는 것을 나타낸다.

세 번째 실험은 패킷 에러가 일어날 확률이 증가될 때, SenTCP 기법과 제안된 기법의 패킷 손실율을 비교하여 오버플로우 발생과 비트 오류를 측정하기 위한 것으로서 제안된 기법이 패킷 손실로 인한 에너지 낭비를 효과적으로 억제할 수 있음을 증명하기 위한 실험이다.

그림 8에 나타난 바와 같이 패킷 오류 발생율이 증가할 때, 제안된 기법이 SenTCP 기법보다 패킷 손실률이 낮음을 알 수 있다. 패킷 손실은 에너지 낭비를 의미하므로 SenTCP 기법보다 에너지 소비 측면에서 더 효율적이라는 것을 의미한다.

본 논문에서 제안된 기법은 End-to-End 순서 번호와 Hop-by-Hop 순서 번호를 함께 사용함으로써 에러가 다음 홉으로 전달되는 것을 제거하였고 전송 지연을 감소시킴과 동시에 에러검출 및 복구 절차를 간소화하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 Hop-by-Hop 순서 번호를 사용하지 않았을 경

우보다 사용하였을 경우에 전송 지연이 더욱 감소하는 것을 나타내었다. 또한, 오류 복구와 혼잡제어를 위해 하나의 피드백 메시지를 사용함으로써 전체적인 제어 메시지의 전송 횟수를 감소시켜 에너지 절감 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

**V. 결론 및 향후 연구**

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경의 각 센서 노드에서 획득된 데이터를 무선 링크를 통하여 전달시 효율적인 에너지의 사용으로 네트워크의 수명시간을 최대화시킬 수 있고 효율적으로 혼잡 및 전송오류와 같은 문제를 해결하기 위한 기법을 제안하였다. 이 기법에서는 End-to-End 순서번호와 Hop-by-Hop 순서번호를 함께 사용한 홉 단위 혼잡 제어 기법을 사용하여 종단간 혼잡제어로 인한 전송 지연시간이 가중되는 현상을 줄이도록 하였다. 또한, DSbACK 메시지를 사용하여 손실 패킷에 대한 신뢰성 있는 데이터 전송이 이루어지도록 하고 전송과정에서 소스 노드의 전송률을 조절하여 버퍼 오버플로우의 발생 가능성을 낮추도록 하였다. 마지막으로, 시뮬레이션 결과를 통해 Hop-by-Hop 순서 번호를 사용함으로써 전송 지연이 감소하는 것을 검증하였다. 또한, 하나의 DSbACK 피드백 메시지로 오류 복구와 혼잡제어 동시에 수행하여 전체적인 제어 메시지의 전송 횟수를 감소시킴으로써 에너지 효율을 향상시킬 수 있음을 보였다.

향후에는 제안된 기법의 성능을 개선하여 네트워크 크기가 상당히 클 경우에도 뛰어난 에너지 효율을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 클러스터링 기반의 데이터 병합 및 전송 기법을 사용하는 무선 센서 네트워크 환경에도 적용 가능한 신뢰성 있는 전송 제어 및 혼잡 제어 기법에 대해 연구하고자 한다.

**참고문헌**

[1] M. Weiser, "Some computer science issues in ubiquitous

computing," *Communications ACM*, vol. 36, no. 7, pp. 75-84, Mar. 1993.

[2] J. M. Kahn, R. H. Katz, and K. S. J. Pister "Next century challenges: Mobile networking for smart dust," *Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp. 263-270, Aug. 1999.

[3] I. F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.

[4] C. Y. Wan, A. Campell, and L. Krishnamurthy, "PSFQ: A reliable transport protocol for wireless sensor networks," *In Proceedings of the Int'l Workshop on Sensor Networks and Arch(WSNA)*, September 2002.

[5] C. Y. Wan, S. B. Eisenman, and A. T. Campbell, "CODA: Congestion detection and avoidance in sensor networks," *In Proceedings of ACM Sensys'03, Los Angeles, USA*, November 2003.

[6] C. Wang, K. Sohraby, and B. Li, "SenTCP: A Hop-by-Hop congestion control protocol for wireless sensor networks," *In Proceedings of IEEE INFOCOM 2005*, Miami, Florida, USA, March 2005.

[7] TinyOS Homepage[Online]. Available: <http://webs.cs.berkeley.edu/tos/>

[8] P. Levis, N. Lee, M. Welsh, and D. Culler, "TOSSIM: Accurate and scalable simulation of entire TinyOS application," *In Proceedings of ACM Sensys*, Nov. 2003.

[9] D. Gay, P. Levis, R. V. Behren, M. Welsh, E. Brewer, and D. Culler, "The nesC Language: A holistic approach to network embedded systems," *In Proceedings of Programming Language Design and Implementation*, June 2003.



**김 현 태**

1996년 군산대학교 정보통신공학과 졸업. 1998년 동 대학원 공학석사. 2006년 동 대학교 공학 박사. 2007년~현재 전북대학교 전자정보공학부 POST BK 21 연구원. 관심분야는 멀티미디어 통신, 무선센서네트워크, 분산처리 미들

웨어 등.



**나 인 호**

1988년 울산대학교 전자계산학과 졸업. 1991년 중앙대 대학원 공학석사. 1995년 동 대학교 공학박사. 1995년~현재 군산대학교 전자정보공학부 교수. 관심분야는 멀티미디어 통신, 무선센서 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 텔레메

틱스 시스템.



**주 영 훈**

1958년 6월 25일 출생. 1982년, 1984년 1995년 연세대학교 전기공학과 졸업 (공학사, 공학석사, 공학박사). 1986년~1995년 삼성전자(주) 생산기술센터 팀장. 1998년~1999년 미국 휴스턴 대학 전기 및 컴퓨터공학과 박사후박사과정,

1995년~현재 군산대학교 전자정보공학부 교수. 현재 한국퍼지 및 지능시스템학회 부회장. 대한전기학회 D부문 총무이사. 제어 · 자동화 · 시스템공학회 편집주간. 관심분야는 지능형 로봇, 지능형 모델링 및 제어, 인간-로봇 인터페이스, 감정인식 등.