

---

# 무선 센서 네트워크를 위한 Hop-by-Hop 기반의 신뢰성 있는 혼잡제어 기법 설계

허관\* · 김현태\* · 나인호\*

A Design of Hop-by-Hop based Reliable Congestion Control Protocol for WSNs

Kwan Heo\* · Hyun-tae Kim\* · In-ho Ra\*

---

본 연구는 정보통신부의 IT기초기술연구지원사업(정보통신연구진흥원)으로 수행한 연구결과물입니다.

---

## 요 약

무선 센서 네트워크의 센서 노드는 브로드캐스트 방식을 사용하여 수집한 데이터를 이웃한 다른 센서노드로 전달하기 때문에 데이터 중복성 문제가 발생한다. 데이터 중복성은 네트워크 로드를 가중시키며 데이터 손실의 원인이 되며, 이러한 문제점은 데이터 전송의 신뢰성과 네트워크 혼잡 회피 간의 상충조건에 의해 발생한다. 따라서 무선 센서 네트워크에서 효율적으로 혼잡제어를 수행하기 위해서는 신뢰성 있는 전송(reliable transmission), 무선 손실(wireless loss), 혼잡 손실(congestion loss) 등과 같은 여러 요소를 고려한 신뢰성 있는 혼잡제어 기법이 필요하다. 본 논문에서는 Hop-by-Hop 순서 번호, DSbACK(Delayed and Selective ACK, Buffer Condition)을 사용하여 신뢰성 있는 전송을 보장하고 불필요한 전송을 최소화한 에너지 절약형 혼잡 제어 기법으로 HRCCP(Hop-by-Hop Reliable Congestion Control Protocol)를 제안하여 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 전송과 혼잡 제어가 동시에 이루어질 수 있도록 하였다.

## ABSTRACT

In Wireless Sensor Networks(WSNs), a sensor node broadcasts the acquired sensing data to neighboring other nodes and it makes serious data duplication problem that increases network traffic loads and data loss. This problem is concerned with the conflict condition for supporting both the reliability of data transfer and avoidance of network congestion. To solve the problem, a reliable congestion control protocol is necessary that considers critical factors affecting on data transfer reliability such as reliable data transmission, wireless loss, and congestion loss for supporting effective congestion control in WSNs. In this paper, we proposes a reliable congestion protocol, called HRCCP, based on hop-hop sequence number, and DSbACK by minimizing useless data transfers as an energy-saved congestion control method.

## 키워드

wireless sensor networks, sensor node, reliable congestion control, hop-by-hop sequence number

## I. 서 론

무선 센서 네트워크(WSNs)를 구성하는 핵심 장치인 센서 노드는 갈수록 소형화되고 있으며, 전력 공급이 어려운 외부 환경에 고정되어 있거나 이동성을 가지기 때문에 한정된 전력을 이용하여 최적의 작업을 처리하는 기능이 제공되어야 한다. 이러한 센서 네트워크는 기존의 ad hoc 네트워크 보다 네트워크를 구성하는 노드의 수가 훨씬 많으며 밀집된 형태로 구성되기 때문에 각 노드들 간의 패킷 손실 가능성이 높고 토폴로지의 변화가 크다는 특징이 있다. 또한, 수많은 센서 노드들 간의 패킷 전송은 경로 손실, 페이딩, 노이즈, 간섭, 핸드오프 등과 같은 이유로 네트워크 부하가 가중되어 최종적으로 네트워크 혼잡을 발생시킨다. 네트워크 혼잡은 결과적으로 전체 네트워크의 성능을 저하시키기 때문에 무선 센서 응용이 요구한 정보를 적시에 제공할 수 없다[1].

일반적으로 혼잡은 패킷 손실이 발생되어 네트워크 로드가 증가하게 되고 그 결과로 전체 전송 시간을 증가시키는 현상을 의미한다. 즉, 손실된 패킷을 복구하기 위해 송신자에게 재전송을 요청하고 올바른 패킷이 도착할 때까지 이와 같은 과정을 반복적으로 수행할 때 네트워크의 패킷의 수가 증가하여 결국 네트워크 성능이 저하된다. 구체적으로 패킷 손실은 라우터나 스위치와 같은 중간 노드의 버퍼에서 발생하거나 간섭, 충돌과 같이 전송채널에서 손실되는 두 가지 원인으로 분류할 수 있다. 또한 대용량 패킷을 단편화(fragmentation)하여 전송해서 조립(assembly)할 때 중간 세그먼트가 손실되면 원형 패킷의 복구가 불가능하여 전송 지연이 발생한다. 따라서 혼잡회피 기법을 통해 전송 시간의 증가와 혼잡을 회피함으로써 실시간 응용 또는 정확성을 요구하는 응용에게 신뢰성 있는 전송을 제공하는 것이 요구된다[2].

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 전송과 혼잡 제어를 모두 고려한 홉 기반의 신뢰성 있는 혼잡 제어 프로토콜(Hop-by-hop Reliable Congestion Control Protocol)을 제안하였다. 이 프로토콜은 Hop-by-Hop 순서 번호와 DSbACK(Delayed and Selective ACK, Buffer Condition) 파라미터를 통하여 홉 간의 패킷 손실, 패킷 지연 및 네트워크 상태를 측정하고 이러한 정보를 통하여 혼잡을 제어하도록 하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 기존 연구 및 문제 정의에 대해 기술하고, 3장에서는 제안된

HRCCP의 기능과 동작 방식을 기술한다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

## II. 기존 연구 및 문제 정의

WSNs에서 신뢰성 있는 전송과 혼잡 제어 기법은 네트워크 성능 및 서비스 품질을 좌우하는 중요한 기술이다. 일반적으로 WSNs에서는 신뢰성 있는 전송을 제공하기 위해 센서의 통신 횟수를 감소시켜 한정되어 있는 에너지의 소비를 절감하는 NACK 기반의 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.

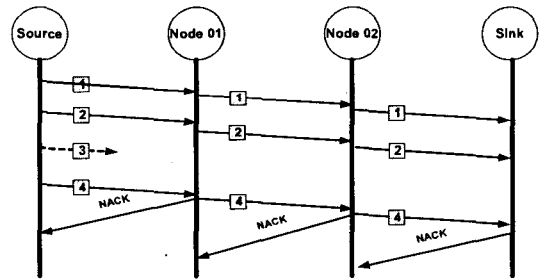


그림 1. NACK 기반의 혼잡 제어 흐름도  
Fig. 1. NACK Based Congestion Control Process

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[3]. 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 데이

터 전송시간이 길어지고 중간 노드에서 버퍼 오버플로우가 발생할 가능성이 높다는 문제점이 있다. 그림 2는 PSFQ의 혼잡 처리 과정을 나타낸 것이다.

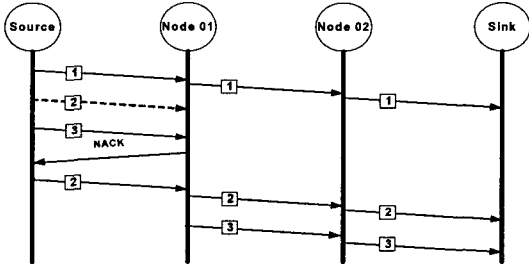


그림 2. PSFQ의 혼잡 제어 과정  
Fig. 2. Congestion Control Process of PSFQ

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 혼잡제어를 수행할 수 있지만 채널 로딩 상태를 파악하기 위한 에너지 소비가 높다는 문제점을 지니고 있다[4].

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[5].

이와 같이 기존에 제안된 기법들의 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 혼잡 제어로 인한 전송 지연 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. 홉 기반의 신뢰성 있는 혼잡 제어

여기에서는 HRCCP의 기본 개념을 설명하고 세부적인 프로토콜 동작과정 및 의사코드를 기술하고 특히, E-to-E(end-to-end) 순서 번호에 H-by-H(hop-by-hop) 순서

번호를 추가하고 DSbACK 기반 피드백 신호를 통하여 전송 및 혼잡을 제어하는 방법에 대해 자세히 설명한다.

#### 3.1 Hop-by-Hop 순서 번호

무선 센서 네트워크는 무선 링크를 사용하기 때문에 유선 링크에 비해 오류 발생률이 상당히 높다. 따라서 오류 발생률이 높은 무선 센서 네트워크 환경에서 E-to-E 전송 제어 기법을 사용하는 것은 적절하지 못하다. 따라서 이것은 PSFQ 프로토콜과 같이 무선 링크 환경에서 효율적인 전송 제어를 위해서는 H-by-H 단위의 전송 제어 기법을 사용하는 것이 적합하다는 것을 의미한다.

본 논문에서 제안한 HRCCP(Hop-by-hop Reliable Congestion Control Protocol) 프로토콜은 신뢰성 있는 전송 제어를 통해 무선 센서 네트워크의 전송 속도를 향상시키기 위해 기존의 E-to-E 순서 번호에 H-by-H 순서 번호를 함께 사용하여 홉 단위에서 패킷 손실에 대한 복구처리가 수행되도록 한다. H-by-H 순서 번호는 홉 간의 데이터 전송 순서를 나타내기 위해 사용되며, 패킷 오류가 발생한 경우에는 손실된 패킷의 재전송을 요구하는 목적으로 사용된다. 그림 3은 NACK 신호를 인접한 두 홉 사이에 전송할 수 있도록 H-by-H 순서 번호를 이용한 전송 제어를 나타내고 있다.

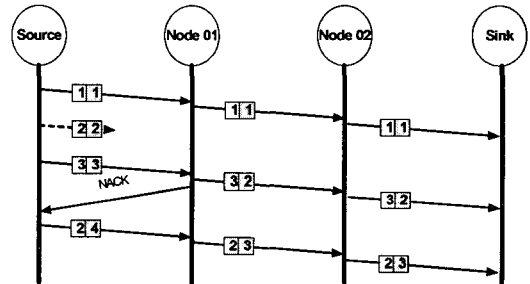


그림 3. Hop-by-Hop 순서 번호를 이용한 전송 제어  
Fig. 3. Transmission Control Using Hop-by-Hop Sequence Number

그림 3에서 볼 수 있듯이, HRCCP는 소스 노드에서 싱크 노드로 전송되는 패킷에 E-to-E 순서 번호와 H-by-H 순서 번호를 하나의 쌍으로 구성하여 전송한다. E-to-E 순서 번호는 소스 노드에서 싱크 노드로 보내는 패킷의 종단간 순서 번호로 사용되며, 전체 전송 경로 중간에 위치한 각 센서 노드들은 H-by-H 순서 번호를 사용한다.

H-by-H 순서 번호를 사용함으로써 홉 단위로 오류 복구를 수행하기 때문에 종단간 오류 복구에서 발생하는 불

필요한 재전송 요구 신호를 줄일 수 있다. 홉 단위의 오류 복구는 홉 순서 번호에 의한 전송 제어이기 때문에 수신된 패킷을 다음 노드로 즉시 전송할 수 있고 오류가 발생한 패킷만을 이전 노드에게 재전송 요청함으로써 패킷의 전송 지연을 줄일 수 있다. 순서화 되지 않은 패킷들은 E-to-E 순서 번호를 이용하여 중간 노드가 아닌 최종 목적지 노드에서만 재조립된다.

### 3.2 DSbACK 기반의 혼잡 제어

기본적으로 HRCCP는 오류 복구 및 혼잡 제어를 위해 편승전송(piggyback)방식으로 DSbACK 피드백 신호를 선행 노드에 전송한다. DSbACK 신호에는 버퍼 점유 상태, 성공적으로 수신한 패킷정보(순서 번호 또는 손실 범위)가 포함된다. 즉, DSbACK는 흐름 제어를 위한 정보(버퍼 점유 상태)와 오류 복구를 위한 재전송 요구 패킷 정보를 하나의 피드백 메시지로 전송하여 홉 단위의 통신 회수를 줄이는 역할을 한다.

그림 4에 나타난 바와 같이 DSbACK는 홉 단위에서 혼잡 제어 수행을 위해 전송지연 발생의 통보와 손실 패킷의 재전송 요청을 위해 두 가지 피드백 메시지 형식을 사용한다. 첫 번째 형식은 <DSbACK x>으로, 여기서 x는  $RTT/2 < d < \text{Timeout}$  범위에 도착한 패킷의 홉 순서 번호를 나타내며 네트워크 혼잡 가능성을 예측하기 위해 사용된다. 두 번째 형식은 <DSbACK x, y>으로 여기서 x, y는 손실 없이 도착한 마지막 패킷과 손실이 발생한 후에 최초로 받은 패킷 각각에 대한 홉 순서 번호이다.

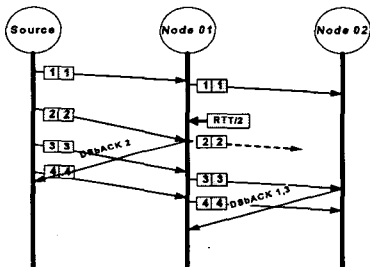


그림 4. DSbACK 사용한 전송 및 혼잡 제어  
Fig. 4. Transmission and Congestion Control with DSbACK

<DSbACK x> 형식은 지연되어 도착하는 패킷에 관한 정보를 제공하여 소스 노드의 전송률을 조정하고 버퍼에 캐싱되어 있는 패킷들을 삭제하는데 사용된다. <DSbACK x, y> 형식은 전송 과정에서 패킷이 손실되었거나 버퍼 오

버플로우 발생으로 패킷이 폐기되었을 때 이러한 패킷에 관한 정보를 제공한다. 이 두 형식은 패킷에 대한 정보뿐만 아니라 버퍼의 상태 정보를 소스 노드에 피드백 함으로써 소스 노드가 전송 속도(rate)를 조정하여 사전에 혼잡을 제거할 수 있도록 한다. 제안된 프로토콜에서는 DSbACK 메시지를 통해 혼잡 상태를 감지하면 전송률을 지속적으로 감소시키고 추후 혼잡이 감소하면 전송률 선형적으로 증가시키는 전송률 제어 방식을 적용하였다.

그림 5는 H-by-H 순서 번호와 DSbACK을 이용한 홉 기반의 신뢰성 있는 혼잡 제어 알고리즘을 나타낸 것이다. 이 알고리즘의 구조는 노드가 패킷을 수신했을 경우, DSbACK을 수신했을 경우, 패킷을 전송하는 경우 등과 같은 세 부분으로 구성되어 있다.

```

// 패킷
packet P
// 현재 패킷 순서번호
current packet seq-num CPsn
// 패킷 도착 시간
packet arrived time Pa
// 다음에 도착해야 될 패킷의 순서번호
packet seq-num Psn
// 지연 시간
RTT/2 + 200 Dt
// 전송 속도
sending rate SR

PROTOCOL :
// 패킷 수신 (수신)
task receive P :
    CongestionControl(P, Pa);

// DSbACK 수신
task receive DSbACK :
    AdjustSendingRate();
    ReTransmission(HSn1, HSn2);

// 패킷 전송 (송신)
task transmission P :
    Transmission();

Module Transmission(){
    transmission Psn;
    Psn++;
    SR++;
}

Module ReTransmission(HSn1, HSn2){
    if(HSn1 && !HSn2)
        transmission HSn1;
    else
        transmission HSn1+1 ~ HSn2-1;
}

Module CongestionControl(P, Pa){
    if(Dt < Pa) // 혼잡
        if(CPsn = Psn)
            DSbACK Psn;
        elseif(CPsn = Psn + 1)
            DSbACK Psn, CPsn;
}

Module AdjustSendingRate(){
    SR = log SR;
}
    
```

그림 5. 홉 기반 신뢰성 있는 혼잡 제어 알고리즘  
Fig. 5. Hop-by-hop Based Reliable Congestion Control Algorithm

#### IV. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 신뢰성 있는 전송과 혼잡제어를 모두 제공하면서 에너지 소비 효율을 개선한 HRCCP을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 E-to-E 순서번호와 H-by-H 순서번호를 함께 사용한 홉 단위 혼잡제어 기법으로서 종단간 혼잡제어로 인한 전송 지연시간이 가중되는 현상을 줄이도록 하였다. 또한, DSbACK을 사용하여 손실 패킷에 대한 신뢰성 있는 데이터 전송이 이루어지도록 하고 전송과정에서 소스 노드의 전송률을 조절하여 버퍼 오버플로우의 발생 가능성을 낮추도록 하였다.

그 외에도 종단간 혼잡제어 기법에서 E-to-E 순서 번호만을 사용하여 모든 중간 노드에서 수신된 패킷들을 정렬하여 전송해야 하는 문제점을 해결하기 위해 H-by-H 순서를 통해 중간 노드에서는 정렬 없이 즉각적인 전송이 이루어지도록 하고 순서화 되지 않은 패킷들을 싱크노드에서 최종적으로 정렬하는 방식으로 전송지연을 줄이도록 하였으며, 홉 단위의 순서 번호를 기반으로 전송 오류를 처리하여 혼잡 제어에 필요한 전체적인 통신 횟수를 줄여서 무선 센서 네트워크의 전체 에너지 소비량이 절감되도록 하였다.

제안된 프로토콜은 아직 설계 단계에 있으며, 실제적인 구현을 통해 다양한 실험과 성능 분석이 요구된다. 또한, 향후 연구를 위해 소스 노드에서의 구체적인 전송률 조절 방법과 수학적 모델을 통한 최적화 방법에 대한 추가 연구가 요구된다.

#### 참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless Sensor Networks: A Survey", Computer Network, Vol. 38, 2002.
- [2] A. B. Forouzan, S. C. Fegan, "TCP/IP Protocol Suite", 2nd Edition, ISBN 0-07-246060-1, 2003.
- [3] C.-Y. Wan, A. Campell, 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.
- [4] C.-Y. Wan, S. B. Eisenman, A. T. Campbell, "CODA:

Congestion Detection and Avoidance in Sensor Networks", In Proceedings of ACM Sensys'03, Los Angeles, USA, November 2003.

- [5] C. Wang, K. Sohraby, B. Li, "SenTCP: A Hop-by-hop Congestion Control Protocol for Wireless Sensor Networks", In Proceedings of IEEE INFOCOM 2005 (Poster Paper), Miami, Florida, USA, March 2005.

#### 저자소개

##### 허 관(Kwan Heo)



2004년 군산대학교 전자정보공학부 공학사  
2005년 ~ 현재 군산대학교 대학원 전자정보공학부 석사과정

※ 관심분야 : 무선센서네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 미들웨어

##### 김 현 태(Hyun-tae Kim)



1996년 군산대학교 정보통신공학과 공학사  
1998년 군산대학교 대학원 정보통신공학과 공학석사

2006년 군산대학교 대학원 정보통신공학과 공학박사  
※ 관심분야 : 멀티미디어 통신, 무선센서네트워크, 분산 처리 미들웨어

##### 나 인 호(In-ho Ra)



1988년 울산대학교 전자계산학과 공학사  
1991년 중앙대학교 대학원 전자계산학과 공학석사

1995년 중앙대학교 대학원 전자계산학과 공학박사  
1995년 ~ 현재 군산대학교 전자정보공학부 교수  
※ 관심분야 : 멀티미디어 통신, 무선센서네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 텔레메틱스.