

논문 2009-46TC-7-7

# 무선 센서 네트워크에서 채널 상태를 고려하여 빠른 경로를 선택하는 기법

( A Fast Route Selection Mechanism Considering Channel Statuses in  
Wireless Sensor Networks )

최 재 원\*

( Jaewon Choi )

## 요 약

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 지연시간에 민감한 데이터를 빠르게 전송하기 위하여 채널 상태를 고려하여 경로를 선택하는 라우팅 기법을 제안하였다. 실시간 전송을 위한 기존의 방식들은 단순히 전파 지연시간이 짧은 경로 혹은 홉 수가 적은 경로를 선택한다. 또한, 무선 매체의 특성에 따라 링크 에러율을 기반으로 하여 실시간 전송 경로를 선정하는 알고리즘도 제안되었다. 하지만, 링크 에러율이 영향을 미치는 전파 지연시간과 재전송 타임아웃 시간은 채널을 검사하고 백오프하는 시간 보다 짧다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 기법은 채널 백오프 비율을 기반으로 하여 채널 사용과 패킷 송신에 소요되는 시간을 추정하였다. 소스 노드는 가장 짧은 지연시간을 가진 경로를 실시간 트래픽을 위한 전송 경로로 선택하였다. 링크 에러율과 채널 백오프 비율에 따른 실험을 통하여 제안 방식이 종단 간의 데이터 전달 속도를 향상시킨다는 사실을 확인하였다.

## Abstract

We have presented a routing mechanism that selects a route by considering channel statuses in order to fast transfer delay-sensitive data in WSNs (Wireless Sensor Networks). The existing methods for real-time data transfer select a path whose latency is the shortest or the number of hops is the smallest. An algorithm to select a real-time transfer path based on link error rates according to the characteristic of wireless medium was also suggested. However, the propagation delay and retransmission timeout affected by link error rates are shorter than channel assessment time and backoff time. Therefore, the mechanism proposed in this paper estimated the time spent in using a clear channel and sending out a packet, which is based on channel backoff rates. A source node comes to select a route with the shortest end-to-end delay as a fast transfer path for real-time traffic, and sends data along the path chosen. We found that this proposed mechanism improves the speed of event-to-sink data transfer by performing experiments under different link error and channel backoff rates.

**Keywords :** WSNs, Routing, Fast Transfer, Delay

## I. 서 론

무선 센서 네트워크는 자가 구성 능력을 가진 네트워크로서 노드들 간의 협업을 통하여 특정한 임무를 수행한다. 이를 구성하는 많은 개수의 센서 노드들은 일반

적으로 악조건의 환경에 무작위로 배치되는 경우가 많으므로 접근하거나 관리하기 어렵다<sup>[1]</sup>. 따라서 센서 노드의 배터리는 충전되거나 교체될 수 없다고 가정한다. 이러한 이유로 인하여 무선 센서 네트워크 분야에서의 많은 연구들은 개별 센서 노드들의 에너지 효율을 향상시키는데 초점이 맞추어져 있었다<sup>[2~3]</sup>. 무선 센서 네트워크는 환경, 군사, 보안, 건강, 스마트 홈 등의 분야에서 광범위하게 활용될 수 있는데 최근에는 그 응용 분야가 더욱 다양해지고 있다. 따라서 무선 센서 네트워크

\* 정회원, 창원대학교 컴퓨터공학과  
(Dept. of Computer Engineering, Changwon  
National University)

접수일자: 2009년3월30일, 수정완료일: 2009년7월9일

크를 위한 프로토콜은 데이터의 특성에 따라 다른 종류의 QoS를 제공할 필요가 있다<sup>[4]</sup>.

본 논문은 정확성, 신뢰성, 실시간 등의 요구사항들 중에서 지연시간에 민감한 데이터를 빠르게 전송하는데 초점을 맞춘다. 데이터를 실시간으로 전송하기 위한 메커니즘에는 제어에 의한 방식과 경로 선정에 의한 방식이 있다<sup>[5]</sup>. 제어에 의한 방식으로는 RAP<sup>[6]</sup>, JiTS<sup>[7]</sup> 등이 있으며, 경로 선정에 의한 방식으로는 SPEED<sup>[8]</sup>, MMSPEED<sup>[9]</sup>, EDD<sup>[10]</sup>, LER-Based DD<sup>[11]</sup> 등이 있다. 본 논문은 후자의 빠른 경로를 선택하는 방법에 의하여 지연시간에 민감한 데이터를 전송하고자 한다. SPEED와 MMSPEED는 이웃 노드들 간의 피드백 정보에 기반하여 지역적으로 라우팅을 수행한다. 따라서 지역적 추정에 의한 불확실성으로 인하여 종단 간의 데이터 전달이 기대하는 시간 내에 이루어지지 못할 가능성이 있다. EDD의 실시간 전송 방식은 종단 간의 홉 수가 가장 적은 경로를 실시간 경로로 선택한다. 하지만, EDD는 링크 상에서 전송 오류가 발생하는 상황을 반영하지 못하고 있다. 즉, 홉 수가 적은 경로라고 하더라도 다른 경로들에 비하여 링크의 품질이 좋지 못하다면 패킷 손실에 따른 재전송 때문에 다른 경로들보다 더 늦게 패킷이 전달될 수 있다. 무선 센서 네트워크는 환경적인 영향과 무선이라는 특성으로 인하여 다른 네트워크들에 비하여 전송 실패율이 높다. 따라서 SPEED와 MMSPEED 같은 지역적 추정 방식의 불확실성을 해소하고 EDD 방식의 단점을 보완하기 위하여 LER-Based DD가 제안되었다. LER-Based DD는 링크 에러율에 기반하여 종단 간의 지연시간을 추정함으로써 빠른 경로를 선택하는 기법이다. 하지만, 실제로는 링크 상의 전파 지연시간보다는 노드 상에서 채널을 검사하고 백오프하는데 걸리는 지연시간이 더욱 길다. 따라서 본 논문에서는 채널 백오프 비율에 기반하여 종단 간의 지연시간을 추정함으로써 가장 빠른 경로를 선택하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 실시간 전송과 관련된 기존의 라우팅 기법들에 대하여 설명하고 그 단점을 고찰한다. III장에서는 채널 백오프 비율에 기반하여 빠른 경로를 선택하기 위한 제안 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 실험을 통하여 기존의 실시간 라우팅 기법과 제안 알고리즘의 종단 간 전달 지연시간을 비교한다. 마지막으로, V장에서 결론을 맺고 향후 연구 과제를 언급한다.

## II. 관련 연구

본 장에서는 무선 센서 네트워크에서의 실시간 데이터 전송과 관련하여 기존의 라우팅 기법들을 소개하고 그 문제점을 분석해 본다.

기존의 SPEED 또는 MMSPEED와 같은 지역적 경로 선택 방식들은 이웃 노드에 대한 정보를 기반으로 하여 싱크 노드까지의 전달 지연시간을 추정함으로써 경로를 선택한다. 이들은 자신과 이웃한 노드 및 싱크 노드의 위치를 알고 있으며, 피드백 제어 신호를 통하여 이웃 노드까지의 지연시간을 알 수 있다고 가정하고 있다. 그리하여 이웃 노드까지의 지연시간을 이용하여 싱크 노드까지의 지연시간을 거리에 비례하도록 추정하는 방식이다. 이러한 방식들은 자신과 이웃한 다음 홉의 노드로부터 싱크 노드까지의 링크 상태를 전혀 고려하지 못하고 있다. 즉, 지역적 추정에 의한 불확실성으로 인하여 기대하는 시간 내에 데이터 전달이 이루어지지 않을 수 있으며, 최악의 경우에는 링크의 단절조차 예측하지 못한다.

Directed Diffusion<sup>[12-14]</sup>이라는 데이터 중심적 라우팅 패러다임은 Interest 패킷의 전파 과정을 이용하여 경사 (gradients)를 설정함으로써 경로가 선택된다. 기본적으로 선호하는 경사는 Interest 패킷의 전파 지연시간이 가장 짧은 경로이다. EDD의 실시간 전송 방식은 Directed Diffusion 프로토콜 패밀리 중에서 One-Phase Pull Diffusion<sup>[14]</sup> 방식을 이용하여 종단 간의 홉 수가 가장 적은 경로를 실시간 경로로 선택한다. 이와 같은 방식들은 링크 상에서 전송 오류가 발생하는 상황을 반영하지 못하고 있다. 즉, 링크 상에서 패킷 손실이 발생하면 MAC 계층에서 재전송이 수행되는데, 위와 같은 방식들은 재전송으로 인한 추가적인 지연시간을 고려하지 않고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 제안된 LER-Based DD는 두 노드 사이의 링크 에러율에 기반하여 재전송이 수반될 횟수를 예상함으로써 하나의 홉 사이에서 패킷이 성공적으로 전송되는데 소요되는 시간을 추정한다. 이러한 방법에 의하여 산출되는 지연시간은 Directed Diffusion의 Interest 패킷을 통하여 홉을 지날 때마다 반복적으로 계산되어 더해지면서 네트워크 전체에 전파된다. 이 과정에서 설정된 경사는 특정 노드에서 싱크 노드까지의 전달 지연시간 정보를 유지하게 된다. 최종적으로, 소스 노드는 가장 짧은 지연시간을 나타내는 경사를 가장 빠른 전송 경로로 선택하고

데이터를 전달한다. 따라서 LER-Based DD는 링크 상에서 패킷 손실이 빈번하게 발생하는 환경에서 지역적 경로 선택 기법이나 기존의 Directed Diffusion에 비하여 더욱 나은 성능을 보였다<sup>[11]</sup>. 무선 센서 네트워크는 무선 링크의 에러율이 높기는 하지만, 실제로는 전파 지연시간보다 채널을 검사하고 백오프하는데 소요되는 시간이 훨씬 길다. 따라서 채널 백오프 비율과 이에 따르는 시간을 고려하는 새로운 라우팅 알고리즘이 필요하다.

### III. 제안 알고리즘

본 장에서는 지연시간에 민감한 데이터를 빠르게 전송하기 위하여 채널 상태를 고려하는 경로 선택 알고리즘을 제안한다.

특정한 노드가 패킷을 송신하기 위해서는 그 전에 해당 패킷을 처리하는 과정이 필요하다. 즉, 하나의 패킷이 다음 홉으로 전송되기 위해서는 노드 상에서 일정한 시간( $T_d$ )이 소요되는데, 이는 식 (1)과 같이 채널 검사 시간( $T_c$ )과 실제 전송 시간( $T_t$ )의 합으로 표현된다.

$$T_{d(i)} = T_{c(i)} + T_{t(i)} \quad (1)$$

$T_{d(i)}$ : 노드  $i$ 에서 패킷을 송신하는데 소요되는 지연시간

$T_{c(i)}$ : 노드  $i$ 에서의 채널 검사 시간

$T_{t(i)}$ : 노드  $i$ 에서의 패킷 전송 시간

$$T_{c(i)} = \frac{R_{b(i)}}{1 - R_{b(i)}} \times T_{b(i)} \quad (2)$$

$T_{c(i)}$ : 노드  $i$ 에서의 채널 검사 시간

$R_{b(i)}$ : 노드  $i$ 에서의 채널 백오프 비율

$T_{b(i)}$ : 노드  $i$ 에서의 채널 백오프 시간

어떠한 노드가 송신할 패킷을 가지고 있다면, 먼저 마이크로 컨트롤러가 채널이 비어 있는지 아닌지를 검사한다. 만약 채널이 비어 있다면, 마이크로 컨트롤러는 CC2520<sup>[15]</sup>과 같은 RF 칩에게 패킷을 송출시키도록 하는 신호를 보낸다. 채널이 비어 있지 않고 사용되고 있는 상황이라면, 마이크로 컨트롤러는 백오프하여 일정한 시간( $T_b$ )을 기다린 후 다시 채널을 검사한다. 그런데, 채널이 비어 있는지 아닌지는 비결정적인 문제이기 때문에 본 논문에서는 백오프에 대한 이력을 가지고 채널 상태를 예측한다. 마이크로 컨트롤러는 채널 백오프 횟수를 카운트함으로써 빈 채널에 대한 사용 채널의 비율을 계산할 수 있는데, 본 논문에서는 이를 채널 백오프

비율( $R_b$ )이라고 명명한다. 즉, 채널 백오프 비율은 어떠한 노드에서 패킷 전송을 위한 채널이 현재 비어 있지 않을 확률을 나타낸다. 따라서 하나의 노드에서 패킷을 송신하기 전에 채널을 검사하는데 소요되는 시간( $T_c$ )은 식 (2)와 같이 추정된다. 패킷의 모든 비트들을 실제 송신하는데 소요되는 시간( $T_t$ )은 본질적으로 결정적이며, 이는 패킷의 크기를 대역폭으로 나눔으로써 간단하게 계산될 수 있다.

이상과 같이, 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 특정한 노드에서 이웃하는 다른 노드로 하나의 패킷을 송신하는데 필요한 시간을 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 한 노드 상에서의 지연시간은 Directed Diffusion의 Interest 패킷을 통하여 네트워크 전체에 전파된다. 이 과정에서 식 (3)을 이용하여 홉을 거칠 때마다 지연시간들이 더해지게 된다. 즉, 식 (3)에 의하여 최종적으로 계산되는 값은 특정한 노드  $i$ 에서 싱크 노드 0으로 패킷을 전송할 때 각각의 홉들에서 채널 검사와 실제 전송을 위해 소요되는 시간들의 합이다. 이러한 방법으로, Interest 패킷을 수신하는 네트워크 내의 모든 노드들은 자신으로부터 싱크 노드까지 패킷을 송신하는데 소요되는 총 지연시간 값을 추정할 수 있게 된다.

$$T_{d(i, 0)} = \sum_{n=1}^i T_{d(n)} \quad (3)$$

$T_{d(i, 0)}$ : 노드  $i$ 에서 싱크 노드 0까지 패킷 송신을 위해서 소요되는

총 지연시간

$T_{d(n)}$ : 노드  $n$ 에서 패킷을 송신하는데 소요되는 지연시간

소스 노드가 플러딩한 Interest 패킷 내의 쿼리에 부합하는 데이터를 가진 노드는 소스 노드가 된다. 소스 노드는 모든 경사들 중에서 자신으로부터 싱크 노드까지 예상되는 지연시간 값이 가장 작은 것을 실시간 데이터를 빠르게 전송하기 위한 경로로 선택한다. 만약, 동일한 지연시간을 나타내는 경로들이 여러 개 있다면, 에너지 소비를 줄이기 위하여 홉 수가 적은 경로를 선택한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 노드 상에서 패킷을 송신하기 위하여 채널을 검사하고 실제 채널을 사용하여 패킷을 송출하기까지 소요되는 시간이 짧은 경로를 선택하는 기법이다. 즉, 채널 백오프 비율이 낮고 채널을 사용하는데 걸리는 시간이 짧은 경로를 선택하여 지연시간에 민감한 데이터를 빠르게 전송하고자 하는 것이다.

#### IV. 종단 간 지연시간 비교 및 분석

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기존의 방식들처럼 단순한 지연시간이나 홉 수만을 고려하는 것이 아니라, 채널의 백오프 비율을 고려하여 실시간 전송 경로를 선택하고 데이터를 전달하는 기법이다. 본 장에서는 선택된 경로 상으로 데이터를 전송하는 실험을 통하여 종단 간의 전달 지연시간을 다른 방식들과 비교한다.

LER-Based DD가 지역적 경로 선택 방식과 기존의 Directed Diffusion보다 더 나은 성능을 보였으므로<sup>[11]</sup>, 본 논문에서는 LER-Based DD와 EDDD의 실시간 전송 방식을 성능 비교 대상으로 한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 채널 백오프 비율을 고려하였기 때문에 *CBR-Based DD*라고 명명한다. *LER-Based DD*는 링크 에러율을 기반으로 하였기 때문에 본 논문에서 그렇게 명명한 것이며, EDDD의 실시간 전송 방식은 홉 수에 기반하였으므로 *HOP-Based DD*라고 명명하도록 한다. 무선 센서 네트워크의 여러 특징들 중의 하나는 노드들이 배치되는 지역의 환경적인 요인과 무선이라는 전송 매체의 특성으로 인하여 링크 에러율이 비교적 높고 채널 백오프가 자주 발생한다는 것이다. 그럼에도 불구하고, HOP-Based DD는 무선 센서 네트워크의 이러한 특수성을 전혀 고려하지 못하였고, LER-Based DD는 종단 간 전달 지연에서 아주 짧은 시간을 나타내는 전파 지연시간에 영향을 미치는 링크 에러율을 고려하였다. 따라서 본 논문에서 제안하는 CBR-Based DD의 성능을 측정하고 이를 다른 방식들과 비교하기 위하여 링크 에러율과 채널 백오프 비율을 모두 적용한 실험을 진행하였다.

본 논문에서 제안하는 채널 백오프 비율 기반의 빠른 경로 선택 기법인 CBR-Based DD는 HOP-Based DD 및 LER-Based DD와 마찬가지로 One-Phase Pull Diffusion에 적용되었으며, 데이터 전파 매커니즘을 프

로그래밍으로 직접 구현하여 실험하였다. 시뮬레이션 환경과 파라미터의 설정은 표 1과 같다. 각각의 노드는 자신과 이웃하는 노드까지의 링크 에러율과 자신에 대한 채널 백오프 비율( $R_b$ )을 계산 및 유지하는 것으로 가정하였다. 그리고 실제 실험에서 링크 에러율과 채널 백오프 비율은 특정한 범위에서 균등한 분포를 가지는 랜덤한 값을 생성하여 각각의 링크 및 노드에 할당하였다. 채널 백오프 방식과 시간은 센서 모드와 운영 체제에 따라 고유하게 구현될 수 있는데, 본 실험에서는 채널 백오프 시간( $T_b$ )을 6.6 ms로 고정하였다. 표 1에서 대역폭은 250 Kbps이고 패킷 크기는 1,024 bits이므로, 패킷의 전송 시간( $T_i$ )은 4.0 ms이다. 실험은 각각의 방식에 의하여 선택된 경로 상으로 패킷을 전송하였을 때의 종단 간 전달 지연시간을 측정하는 것으로 하였다. 실험 결과를 나타내는 각 그래프의 점들은 이와 같은 측정을 1,000번 수행한 후 평균값으로 표시한 것이다.

먼저, 무선 채널이 항상 비어 있는 환경을 가정하여 실험을 수행하여 보았다. 즉, 채널은 항상 사용 가능한 상태이므로 채널 백오프 비율은 0으로 고정되며, 링크 에러율이 가변적인 환경이다. 그림 1은 링크 에러율에 따라 각각의 방식들이 선택한 경로로 패킷을 전송하였을 때의 종단 간 전달 지연시간을 나타낸 그래프이다. 각각의 링크 에러율은 최대값을 나타내는 것으로서 네트워크 내의 모든 무선 링크들은 주어진 최대값 범위 내에서 균등한 분포의 랜덤한 에러율을 가지며 시간에 따라 동적으로 변한다. 링크 에러율이 높아질수록 패킷 손실에 따른 재전송이 더욱 빈번하게 수반되어 패킷이 성공적으로 전송되는데 소요되는 시간은 길어진다. 다른 두 가지 방식들과는 다르게 LER-Based DD는 링크 에러율을 기반으로 하여 전파 지연시간과 재전송 타임아웃을 고려하여 경로를 선정하는 방식이므로 높은 링크 에러율 상태에서는 다른 방식들보다 전달 지연시간이 짧다. 그런데, 그림 1에서 보는 것과 같이, 링크 에러율이 낮은 환경에서는 오히려 HOP-Based DD와 CBR-Based DD보다 낮은 성능을 나타낸다. 이는 다음과 같은 원인으로 분석된다. LER-Based DD는 링크 에러율이 상대적으로 낮은 경로를 선택하고, HOP-Based DD는 홉 수가 가장 적은 경로를 선택한다. CBR-Based DD는 채널 백오프 비율을 기반으로 하는데, 이 실험에서는 값이 0이기 때문에 단지 에너지 소비를 줄이기 위하여 결과적으로는 홉 수가 가장 적은 경로를 선택하게 된다. 따라서 그림 1에서 HOP-Based DD와 CBR-

표 1. 실험 파라미터 설정

Table 1. Configuration of experiment parameters.

Item	Value
Number of nodes	100
Initial energy of each node	1 J
Transmitting power	77.4 mW
Receiving power	55.5 mW
Packet size	1,024 bits
Interarrival time	100 ms
Bandwidth	250 Kbps

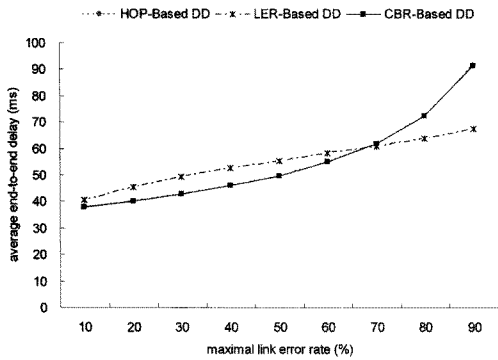


그림 1. 링크 에러율에 따른 종단 간 지연시간  
Fig. 1. End-to-end delay under different link error rates.

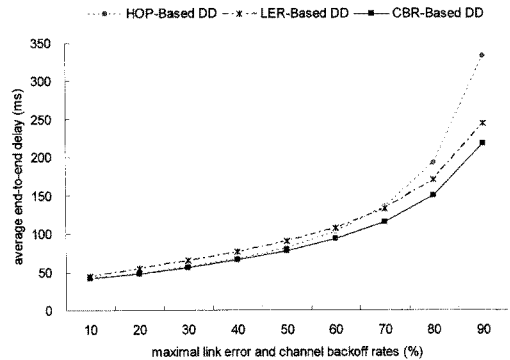


그림 3. 링크 에러율과 채널 백오프 비율에 따른 종단 간 지연시간  
Fig. 3. End-to-end delay under different link error and channel backoff rates.

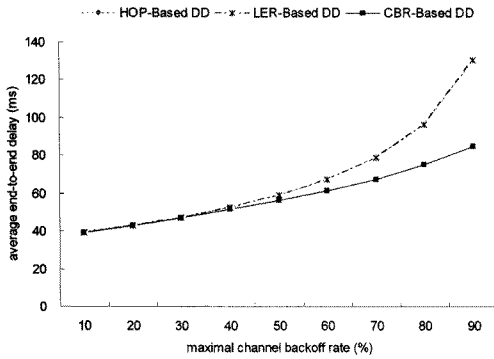


그림 2. 채널 백오프 비율에 따른 종단 간 지연시간  
Fig. 2. End-to-end delay under different channel backoff rates.

Based DD는 동일한 성능을 나타내는 것이다. 이 때, 링크 에러율이 낮을 경우에는 LER-Based DD가 선택한 경로의 추정된 지연시간은 다른 방식들이 선택하는 경로의 지연시간과 큰 차이가 없다. 그런데, LER-Based DD가 선택하는 경로는 다른 두 가지 방식이 선택하는 경로들에 비하여 홑 수는 더 많게 된다. 아주 낮고 거의 유사한 에러율 환경에서, 홑 수가 많은 경로 상의 패킷 손실과 재전송은 홑 수가 적은 경로들보다 더욱 자주 발생할 수 있게 된다. 즉, 에러율이 비교적 낮을 때에는 링크의 품질보다는 홑 수나 전송 거리가 더욱 큰 영향을 미친다고 할 수 있다. 그러므로 LER-Based DD는 링크 에러율이 높은 환경에서만 유리하다고 할 수 있으며, 링크 에러율이 아주 높지 않은 환경에서는 HOP-Based DD와 CBR-Based DD가 더욱 나은 성능을 나타낸다.

다음으로, 링크의 품질은 아주 좋은 반면에 채널 사용률이 높은 환경을 가정하여 실험을 수행하였다. 즉, 링크 에러율은 0으로 고정되고 채널 백오프 비율이 가변적인 환경이다. 그림 2는 채널 백오프 비율을 높여감에 따른 종단 간 전달 지연시간을 나타낸 것이다. 그림 2에서 HOP-Based DD와 LER-Based DD는 동일한 성능을 나타내고 있으며, 이 두 가지 방식들은 채널의 상태를 전혀 고려하지 않았으므로, 제안하는 CBR-Based DD가 지연시간 측면에서 가장 나은 성능을 보여 준다.

마지막으로, 링크의 품질은 낮고 채널 사용률은 높은 환경을 가정하여 실험을 수행하였다. 그림 3은 링크 에러율과 채널 백오프 비율을 모두 변화시켜가면서 실험을 수행한 결과이다. 링크 에러율과 채널 백오프 비율이 높아짐에 따라 모든 방식들의 종단 간 전달 지연시간이 길어진다. 하지만, 제안하는 CBR-Based DD가 항상 가장 짧은 지연시간을 나타내고 있다. HOP-Based DD는 링크 에러율과 채널 백오프 비율을 전혀 고려하지 않았기 때문에 성능이 가장 나쁘며, 비율이 높아질수록 지연시간이 급격하게 증가한다. LER-Based DD는 링크 에러율을 고려하기는 하였지만, 링크 에러율과 관련이 있는 전파 지연시간과 재전송 타임아웃은 채널 백오프 시간보다는 짧기 때문에, 채널 백오프 비율과 시간을 고려하여 경로를 선택하는 CBR-Based DD보다는 성능이 좋지 않다.

이상의 실험 결과들에서 알 수 있는 것처럼 실시간 데이터를 전송하기 위한 빠른 경로를 선택하는 문제에 있어서, 홑 수를 기반으로 하는 HOP-Based DD와 링

크 에러율을 고려하는 LER-Based DD 모두 적절하지 않다고 할 수 있다. 즉, 무선 센서 네트워크에서 채널의 상태가 좋지 않은 환경에서는 CBR-Based DD가 훨씬 나은 성능을 발휘하게 된다. 결과적으로, 제안하는 CBR-Based DD가 실시간 데이터의 전송 속도를 향상시킨다는 사실을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 지연시간에 민감한 데이터를 빠르게 전송하기 위하여 채널 상태를 고려하는 경로 선택 알고리즘을 제안하였다. 기존의 Directed Diffusion은 단순한 지연시간을 고려하였으며, HOP-Based DD는 홉 수에만 의존하여 경로를 선택하였다. 하지만, 무선 센서 네트워크는 다른 네트워크 환경들에 비하여 링크 에러율이 높기 때문에 패킷 손실과 재전송이 빈번하게 발생한다. 이러한 점에 착안하여, 링크 에러율을 기반으로 전파 지연시간과 재전송 타임아웃 시간을 고려하는 LER-Based DD가 제안되었다. 하지만, 무선 센서 네트워크에서 데이터를 전송할 때에는 채널의 상태도 중요한 변수로 작용한다. 더군다나, 채널을 검사하고 백오프하는데 소요되는 시간은 전파 지연시간이나 재전송 타임아웃 시간보다 더욱 길어질 수 있다. 이에, 본 논문에서는 채널 백오프 비율을 고려하여 빠른 경로를 선택하는 알고리즘을 제안하였다. 데이터를 전송하기 전에 채널의 백오프 히트수를 확률적으로 예측하고 이에 소요되는 시간을 계산함으로써 채널의 상태가 좋고 데이터를 빠르게 송신할 수 있는 경로를 선택한 것이다.

다른 방식들과의 성능 비교를 위하여 채널 백오프 비율은 물론 링크 에러율까지 변화시켜가면서 종단 간의 전달 지연시간을 측정하였다. 제안한 CBR-Based DD는 기존의 Directed Diffusion, HOP-Based DD, LER-Based DD보다 더욱 나은 성능을 보였다. 따라서 소스 노드에서 싱크 노드까지 데이터를 빠르게 전송하기 위한 경로를 선택하는 문제에 있어서 CBR-Based DD는 무선 채널의 상태가 좋지 못한 환경에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 실시간 전송에 영향을 미치는 다양한 요소들을 파악 및 분석하고 그 결과를 경로 선택 과정에 반영함으로써 더욱 효과적인 라우팅 알고리즘을 개발하고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A Survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] Jamal N. Al-Karaki and Ahmed E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Wireless Communications*, Vol. 11, No. 6, pp. 6-28, Dec. 2004.
- [3] Kemal Akkaya and Mohamed Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 3, No. 3, pp. 325-349, May 2005.
- [4] Jae-Won Choi and Kwang-Hui Lee, "A Reliable Data Transfer Mechanism Using Directed Diffusion in Wireless Sensor Networks," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 43-TC, No. 8, pp. 77-83, Aug. 2006.
- [5] Jae-Won Choi, "An Application-Specific QoS Routing Mechanism in Wireless Sensor Networks," Ph.D. Dissertation, Changwon Nat'l University, Dec. 2006.
- [6] Chenyang Lu, Brian M. Blum, Tarek F. Abdelzaher, John A. Stankovic, and Tian He, "RAP: A Real-Time Communication Architecture for Large-Scale Wireless Sensor Networks," in *Proc. of the 8th IEEE Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS 2002)*, pp. 55-66, San Jose, California, USA, Sep. 24-27, 2002.
- [7] Ke Liu, Nael Abu-Ghazaleh, and Kyoung-Don Kang, "JiT'S: Just-in-Time Scheduling for Real-Time Sensor Data Dissemination," in *Proc. of the 4th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2006)*, pp. 42-46, Pisa, Italy, March 13-17, 2006.
- [8] Tian He, John A Stankovic, Chenyang Lu, and Tarek Abdelzaher, "SPEED: A Stateless Protocol for Real-Time Communication in Sensor Networks," in *Proc. of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS 2003)*, pp. 46-55, Providence, Rhode Island, USA, May 19-22, 2003.
- [9] Emad Felemban, Chang-Gun Lee, Eylem Ekici, Ryan Boder, and Serdar Vural, "Probabilistic QoS Guarantee in Reliability and Timeliness Domain in Wireless Sensor Networks," in *Proc. of IEEE INFOCOM 2005*, Miami, Florida, USA,

Mar. 13-17, 2005.

- [10] Min Chen, Taekyoung Kwon, and Yanghee Choi, "Energy-Efficient Differentiated Directed Diffusion (EDDD) in Wireless Sensor Networks," *Computer Communications*, Vol. 29, No. 2, pp. 231-245, Jan. 10, 2006.
- [11] Jae-Won Choi and Kwang-Hui Lee, "A Real-Time Data Transfer Mechanism Considering Link Error Rates in Wireless Sensor Networks," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, Vol. 44-TC, No. 1, pp. 146-154, Jan. 2007.
- [12] Chalermek Intanagonwivat, Ramesh Govindan, and Deborah Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," in *Proc. of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2000)*, pp. 56-67, Boston, Massachusetts, USA, Aug. 6-11, 2000.
- [13] Chalermek Intanagonwivat, Ramesh Govindan, Deborah Estrin, John Heidemann, and Fabio Silva, "Directed Diffusion for Wireless Sensor Networking," *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, Vol. 11, No. 1, pp. 2-16, Feb. 2003.
- [14] Fabio Silva, John Heidemann, Ramesh Govindan, and Deborah Estrin, "Directed Diffusion," USC/ISI Technical Report ISI-TR-2004-586, Feb. 10, 2004.
- [15] Texas Instruments, CC2520 Datasheet, <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/cc2520.html>

---

저 자 소 개



최재원(정회원)

2000년 2월 창원대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
 2002년 2월 창원대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)  
 2007년 2월 창원대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)  
 2007년 12월~2008년 11월 미국 미주리대학교  
 박사후 연구원  
 2009년 2월~현재 창원대학교 컴퓨터공학과  
 초빙교수

<주관심분야: 무선 센서 네트워크, QoS 라우팅, 네트워크 관리 시스템>