

# 무선 센서 네트워크에서 수신구간 분산 배치를 통한 전송지연 감소 방안

## A Solution for Reducing Transmission Latency through Distributed Duty Cycling in Wireless Sensor Networks

김준석 (Jun-Seok, Kim) 권영구 (Young-Goo, Kwon)

### 요약

최근에 무선 센서 네트워크는 여러 분야에서 다양하게 활용되고 있으며 간단한 환경 모니터링 시스템에서부터 기계, 구조물, 교량, 비행기와 같은 모션 모니터링과 군사, 텔레메틱스와 같은 정보량이 많고 복잡한 시스템에 적용이 시도되고 있다. 따라서 간단한 역할만 수행하면서 저 전력으로 오랜 시간 동안 운용을 목표로 해온 무선 센서 네트워크는 보다 복잡하고 어려운 작업을 수행하도록 요구되고 있다. 일반적으로 무선 센서 네트워크의 MAC 프로토콜들은 주기적으로 sleep / wake를 반복하여 불필요한 에너지 소비를 줄이며 이를 Duty Cycling이라고 한다. 하지만 이러한 Duty Cycling은 sleep 구간 동안에 전송할 수 없어서 홉(Hop)이 늘어날수록 전송지연이 증가하는 단점이 있다. 이러한 전송지연은 비행기 날개, 군사, 텔레메틱스 등의 복잡한 시스템이나 교통사고위험 감지 경고 시스템과 같이 빠른 데이터 처리가 필요한 시스템에서 큰 문제점이 될 수 있다. 본 논문에서는 수신 구간을 분산 배치 알고리즘(Distributed Duty Cycling, DDC)을 통하여 무선 센서 네트워크 MAC(Media Access Control) 프로토콜에서 발생하는 전송지연을 크게 줄이는 기법을 제안한다. 제안한 알고리즘은 CC2420DBK를 이용한 필드 테스트를 통해서 검증되었으며 실험 결과를 통해서 DDC 알고리즘을 통해서 전송지연을 크게 줄이고 에너지 소비 또한 감소한다는 것을 확인 할 수 있다.

### Abstract

Recently, wireless sensor networks are deployed in various applications range from simple environment monitoring systems to complex systems, which generate large amount of information, like motion monitoring, military, and telematics systems. Although wireless sensor network nodes are operated with low-power 8bit processor to execute simple tasks like environment monitoring, the nodes in these complex systems have to execute more difficult tasks. Generally, MAC protocols for wireless sensor networks attempt to reduce the energy consumption using duty cycling mechanism which means the nodes periodically sleep and wake. However, in the duty cycling mechanism, a node should wait until the target node wakes and the sleep latency increases as the number of hops increases. This sleep latency can be serious problem in complex and sensitive systems which require high-speed data transfer like military, wing of airplane, and telematics. In this paper, we propose a solution for reducing transmission latency through distributed duty cycling (DDC) in wireless sensor networks. The proposed algorithm is evaluated with real-deployment experiments using CC2420DBK and the experiment results show that the DDC algorithm reduces the transmission latency significantly and reduces also the energy consumption.

**Key Words** : Wireless Sensor Network, Duty Cycling, Latency, Energy Efficiency

## 1. 서 론

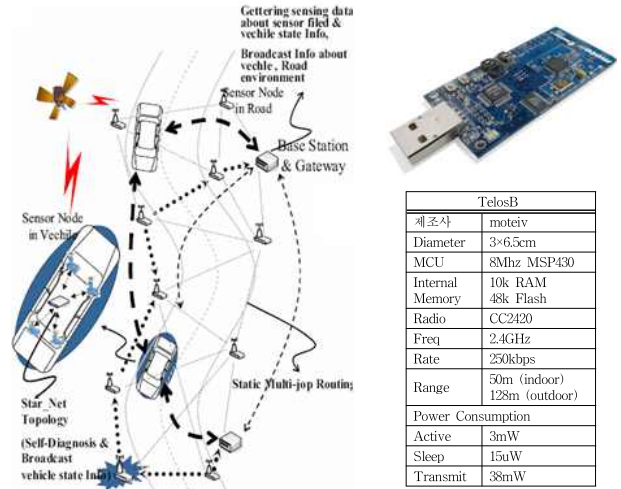
무선 센서 네트워크는 최근 가장 연구가 활발한 분야 중 하나이며, 초기에는 저가, 저 전력의 노드들을 수십 수백 개 배치하여 넓은 지역의 환경을 모니터링 하는 것으로 시작하였다. 최근에는 무선 센서 네트워크를 이용하여 환경 모니터링뿐만 아니라 기계, 구조물, 교량, 비행기와 같은 모션 모니터링과 군사, 텔레메틱스와 같은 정보량이 많고 복잡한 시스템을 구축하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 현재 텔레메틱스 분야에서도 교통 정보의 고도화를 위해서 무선 센서 네트워크를 도입하려는 많은 노력이 있으며 이는 u-city 구현을 위한 핵심 과제 중 하나이다. 대표적인 텔레메틱스 솔루션으로는 차량의 소통 량을 파악해서 실시간으로 보다 원활한 교

통 흐름을 유지하거나 차량과 사람의 위치를 센서를 통해서 파악하고 사고의 위험을 감지하고 경고 하여 사고를 줄이는 것들이 있다. 이를 비롯한 다양한 텔레메틱스 솔루션을 저가의 무선 센서 네트워크 노드들로 구축한다면 적은 자원으로 보다 넓은 지역에 도입할 수 있을 것이다. 하지만 우리는 하나의 의문점을 가질 수 있다. 과연 저가의 소형 무선 센서 네트워크 디바이스가 텔레메틱스와 같은 복잡한 기능을 수행할 수 있는가 이다. 그림 1-(b)에서 볼 수 있듯이 일반적으로 무선 센서 네트워크 디바이스는 소형이며 8-bit 또는 16-bit의 낮은 속도의 프로세서와 적은 메모리 공간을 가지고 있다. 또한 기존의 무선랜 (Wireless Local Area Network, WLAN) 과 유선랜 (Wired Local Area Network, LAN)에 비해서 매우 낮은 전송속도를 가지며 신뢰도 또한 낮다. 그리고 최근에는 WCDMA나 Wibro와 같은 고속의 광대역 통신 서비스를

이용하여 별도의 네트워크를 구축 없이 용이하게 텔레메틱스 솔루션을 구축할 수 있다. 교통사고 감지 경보 시스템과 같이 시간과 신뢰도가 매우 중요한 상황에서는 무선 센서 네트워크를 이용한 시스템 보다는 기존의 망 또는 광대역 망을 이용한 시스템이 보다 적합할 것이다. 하지만 이와 같은 기존의 망 또는 광대역 망을 이용하는 시스템에서 가장 큰 문제는 시스템을 구축하는데 상대적으로 많은 비용이 필요하며 전력의 지속적으로 공급되어야 한다는 것이다. 또한 도심지역 이외의 지방도로에서는 전혀 전력이 공급될 수 없을 수 있으며 WCDMA와 같은 광대역 망을 사용할 수 없을 수도 있다. 따라서 이러한 지역에서는 저가의 무선 센서 네트워크를 이용하여 시스템을 구축하는 것이 적합할 것이다. 일반적으로 무선 센서 네트워크에서 MAC 프로토콜은 저 전력으로 동작하기 위해서 주기적으로 sleep(=power off)과 wake(=power on)를 반복하는 Duty Cycling을 지원한다. 하지만 이로 인해서 sleep 구간 동안의 전송지연이 발생하게 되며 전송지연은 홉(Hop)이 증가할수록 크게 증가한다. 그리고 이러한 전송지연은 앞서 언급한 교통사고 감지 경보 시스템과 같이 시간과 신뢰도가 매우 중요한 시스템에서 큰 문제점이 된다. 우리는 본 논문에서는 수신구간의 분산 배치 (Distributed Duty Cycling, DDC) 알고리즘을 통해 이러한 전송지연을 문제를 효과적으로 해결하는 기법을 제안할 것이다. 앞으로 2장에서는 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜 관련 연구를, 3장에서는 DDC 알고리즘에 대해서, 4장에서는 실험과 결과를 정리 하겠으며, 마지막으로 5장에서는 결론을 제시하겠다.

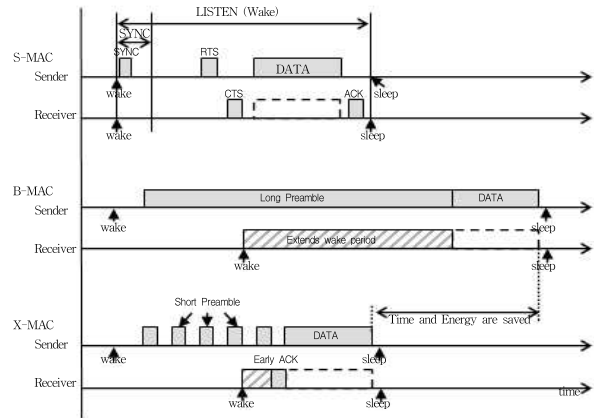
## II. 관련연구

무선 센서 네트워크의 연구 토픽으로 가장 많은 관심을 받고 있는 것 중의 하나는 한정된 배터리를 가지고 얼마나 장시간의 운용이 가능 한가이다. 일반적으로 무선 센서 네트워크에서는 수십 수백 개의 노드들이 넓은 지역에 배치되어 있으며 배터리를 몇 달을 주기로 교체하기 위해서 인력이 투입되는 것은 상당히 어려우므로 적어도 일반적인 건전지라도 2년 이상의 긴 시간동안 운용되는 것이 바람직하다. MAC (Media Access Control) 프로토콜 또한 기존의 유선과 무선에서와는 달리 이러한 무선 센서 네트워크 노드들이 장시간 운용이 가능하도록 지원하여야 한다. 따라서 에너지 효율에 중점을 둔 S-MAC [6]과 B-MAC [7]과 같은 수많은 새로운 MAC 프로토콜들이 제안되고 있다. S-MAC은 그림 2에서 볼 수 있듯이 주기적으로 sleep(=power off)와 wake(=power on)을 반복함으로써 계속 파워를 켜두는 것에 비해서 상당량의 에너지 소비를 줄일 수 있다. 하지만 wake 상태 일 때만 데이터 송수신이 가능하기 때문에 데이터를 전송하고자하는 노드는 상대방이 언제 wake 하는지 알아야한다. S-MAC에서는 이를 위해서 네트워크를 구성하는 모든 노드의 Radio 파워를 같은 주기로 sleep/wake 하도록 한다. 이를 동기화 (Synchronization) 과정이라고 하며 S-MAC에서는 동기화를 위해서 노드들이 주기적으로 SYNC 패킷을 보내서 이를 받은 노드들이 동기를 맞추도록 한다.



(a) 교통사고 감지 경보 시스템 [4] (b) Tmote sky [3]

<그림 1> 무선 센서 네트워크를 이용한 텔레메틱스 시스템



<그림 2> S-MAC, B-MAC, X-MAC 프로토콜 비교

하지만 동기를 맞추기 위해서 주기적으로 보내는 SYNC 패킷들과 이를 수신하기 위해 설정된 SYNC 기간은 전체적으로 큰 에너지 손실을 유발하게 되고 네트워크의 크기가 커질수록 모든 노드들의 동기를 맞추는 것이 어려워지게 된다. B-MAC은 이러한 동기화 문제를 해결하기 위한 비동기 방식을 제안하였으며 S-MAC에 비해서 매우 간단한 구조를 가지고 있다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 B-MAC에서 각각의 노드들은 서로의 동기를 맞추는 필요가 없다. 대신에 전송을 시도하는 노드는 상대 노드가 수신할 수 있도록 Sleep 구간보다 긴 Preamble 이후에 데이터를 전송하게 된다. 이웃 노드들은 주기적으로 sleep/wake 하면서 wake 구간에서 매우 짧은 시간 동안에 CCA (Channel Clear Assessment)를 수행하는데 이 때 데이터 전송 에너지가 감지되면 계속 wake 상태에서 자신에게 오는 패킷이 있는지 기다리게 된다. 하지만 긴 Preamble로 인해서 전송 노드와 수신 노드의 불필요한 에너지 소비가 발생하게 되며 이는 주변 노드와 데이터 흐름이 많아질수록 커지게 된다. 또한 데이터 충돌을 긴 Preamble과 데이터 송신 이후에 알 수 있기 때문에 Ad-Hoc 네트워크에서 큰 충돌 문제를 가진다. X-MAC [8]은 이러한 긴 Preamble의 문제점을 보완하였는데 그림 2에서 볼 수 있듯이 긴 Preamble을 작은 Short Preamble로 나눠서 전송하고

이들 받은 수신 노드가 Early ACK을 전송하여 송신 노드가 바로 데이터를 전송 할 수 있도록 한다. 이와 같이 비동기 방식의 MAC은 동기를 맞추기 위한 Overhead가 없으며 동기방식에 비해 구조가 매우 간단한 장점을 가지고 있다. 하지만 비동기 방식의 MAC 또한 주기적으로 발생하는 Sleep 구간으로 인해서 전송지연이 발생하게 되는데 이를 Sleep latency라고 한다. X-MAC은 S-MAC과 B-MAC에서 비해서 확률적으로 적은 Sleep Latency를 발생하지만 홉(Hop)이 증가할수록 Sleep Latency 또한 크게 증가하게 된다. 따라서 이러한 Sleep Latency를 줄이기 위해서 데이터 량이 많을 시에는 Duty Cycle을 증가시키도록 하며 이에 대한 많은 연구들이 [11] 진행되고 있다. 여기서 Duty Cycle이란 전체 시간에 대한 wake 구간 길이의 비중으로 예를 들어서 1초의 duty에서 0.1초 동안 Wake 된다면 10% Duty Cycle이 된다. 하지만 기존의 wake 구간을 증가시키는 Duty Cycling 방법으로는 Sleep Latency를 효과적으로 줄일 수 없다.

### III. Distributed Duty Cycling 알고리즘

앞서 언급하였듯이 적용되는 시스템에 따라서 무선 센서 네트워크상의 전송지연이 큰 문제점을 야기할 수 있다. MAC 프로토콜에서 sleep과 wake를 반복적으로 수행하는 Duty cycle은 에너지 소모량을 크게 줄여주지만 sleep 구간에 따른 전송지연을 유발하게 된다. 따라서 데이터 량에 따라서 Duty cycle을 조정해 Sleep Latency를 줄이는 방법들이 제시되고 있는데, 그림 3-(a)에서 볼 수 있듯이 wake 구간을 늘리는 기존의 방법으로는 Sleep Latency를 효과적으로 줄일 수 없다. 기존의 Duty Cycling에서 Duty Cycle이 1%에서 2%로 증가할 때 실제로 sleep 구간은 99%에서 98%로 1%만 줄어들게 된다. 하지만 그림 3-(b)에서와 같이 wake 구간을 늘리는 것이 아니라 wake 구간을 전체 구간에 분산 배치 할 경우 sleep 구간을 99%에서 49%로 줄일 수 있게 된다. 기존의 Duty Cycling에서는 sleep 구간을 99%에서 49%로 줄이기 위해서는 Wake 구간을 1%에서 51%로 늘려야 하지만 DDC 알고리즘 상에서는 wake 구간을 1%만 늘리더라도 Sleep Latency를 크게 감소시킬 수 있으며 X-MAC에서 기존의 Duty cycling과 새로운 DDC 알고리즘 상에서의 최대 Sleep latency는 다음의 수식으로 표현할 수 있다.

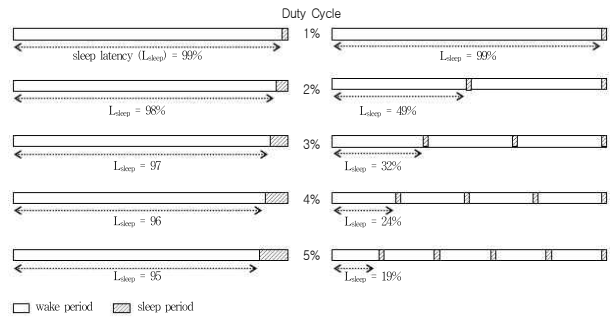
X-MAC 상에서 한 홉에 대한 최대 Sleep Latency :

$$P_{sleep} = 100 \times (1 - P_{wake})$$

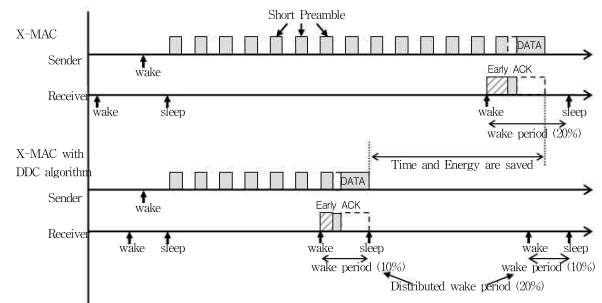
DDC 알고리즘을 적용한 후 최대 Sleep Latency :

$$P_{sleep} = \frac{100 \times (1 - P_{wake})}{P_{wake}}$$

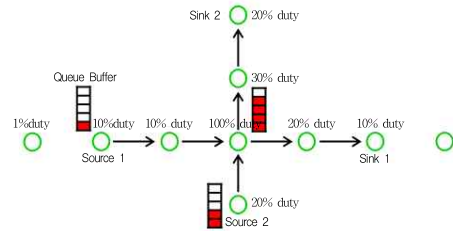
여기서  $P_{sleep}$  전체 100%의 duty에서 Sleep Latency를 유발하는 sleep 구간이 차지하는 비율이며  $P_{wake}$ 는 전체 100%의 duty에서 wake 구간이 차지하는 비율을 의미한다. 그림 4에서는 기존의 Duty cycling과 DDC 알고리즘 상에서 데이터 송수신을 시간 축으로 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 Wake 구간을 분산 배치하면서 필요한 Short Preamble 개수를 줄임으로써 Sleep Latency와 에너지 소비가 줄어들게 된다.



(a) 기존 Duty Cycling (b) Distributed Duty Cycling  
 <그림 3> DDC 알고리즘을 이용한 효과적인 Sleep Latency 감소

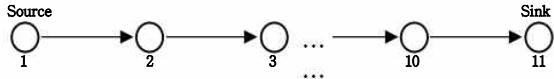


<그림 4> DDC 알고리즘 적용 전후 비교

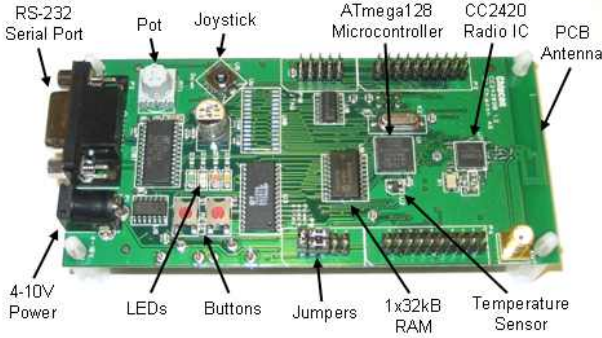


<그림 5> 독립적인 Duty Cycle 운영

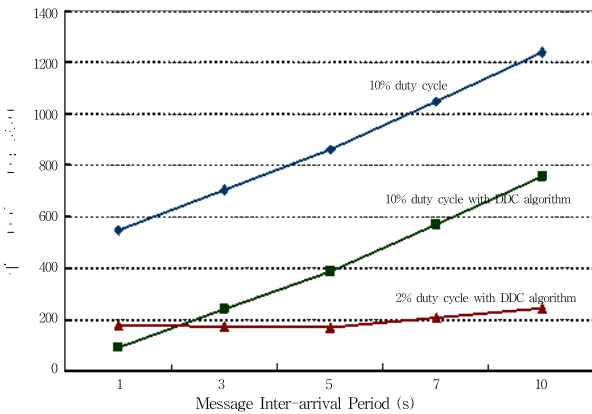
또한 DDC의 장점은 각 노드가 데이터 트래픽 량에 따라서 Duty cycle을 독립적으로 설정할 수 있다는 것이다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 각 노드는 [8]와 같은 알고리즘을 통해서 트래픽 량을 측정하여 트래픽 량이 많을 경우에는 Duty cycle을 높이고 량이 많지 않을 경우에는 기본 1% Duty cycle을 유지하도록 하여 에너지 소비를 감소시키게 된다. [7]에서는 IAS(Interleaving Access Scheme)이라는 본 알고리즘과 유사한 방식을 제안하고 있는데 IEEE 802.15.4 표준에서 데이터양에 따라서 IO (Interleaving Order)를 조정하여 Wake 구간을 지수 적으로 감소시켜 Sleep latency를 크게 줄이게 된다. 하지만 Wake 구간이 지수 적으로 감소되어 데이터 송수신 구간이 감소하기 때문에 데이터 량이 많을 때 원활한 데이터 송수신이 어렵게 된다. 이는 Duty cycle이 적용된 IEEE 802.15.4 표준이 동기방식이며 정해진 wake 구간에서만 데이터 송수신이 가능하기 때문이다. 하지만 우리가 제안한 알고리즘은 비동기방식의 X-MAC에 기반한 것이며 wake 구간에서 Preamble을 감지했을 시 wake 구간의 길이에 상관없이 데이터 송수신이 가능하기 때문에 IAS와 같은 문제점이 발생하지 않는다.



<그림 6> 네트워크 토폴로지



<그림 7> CC2420DBK



<그림 8> Mean energy consumption on the entire networks

## IV. 실험 및 결과

### 1. 실험 시나리오

우리는 제안한 DDC 알고리즘을 검증하기 위하여 그림 7.의 CC2420DBK 플랫폼 사용하여 필드 테스트를 수행하였다. X-MAC과 DDC 알고리즘을 구현하기 위하여 Chipcon사에서 제공한 MAC 소스 수정하였으며 1% duty cycle을 기본 duty cycle로 정하였다. 실험은 다음과 같은 세 가지 Duty Cycling 모드 상에서 실험을 수행하였다.

- 1) 10% duty cycle
- 2) 10% duty cycle with DDC algorithm
- 3) 2% duty cycle with DDC algorithm

실험들은 그림 6.에서 볼 수 있듯이 Linear Ad-Hoc Topology에서 수행되었으며 Source인 1번 노드는 정해진 주기에 따라서 데이터를 발생시키고 여러 홉을 거쳐서 11번 Sink 노드로 전송된다.

### 2. Energy Consumption

그림 8.은 앞서 나열한 3가지의 Duty Cycling 모드 상에서

1초에서 10초까지 Message Inter-arrival Period를 변경하면서 전체 네트워크의 에너지 소모량을 보여주고 있다. Message Inter-arrival Period란 Source 노드가 데이터를 발생하는 주기를 의미하는 것으로서 1초의 Message Inter-arrival Period란 Source 노드가 1초마다 하나의 데이터를 발생시킨다는 것이다. 모든 실험에서 Source 노드는 20개의 데이터를 발생시켰으며 각 데이터의 크기는 100 바이트이다. 또한 동일한 실험을 5번 반복 수행하여 평균값을 얻어냄으로서 통계적인 신뢰성을 얻도록 하였다. 에너지 소모량을 측정하기 위해서 각 노드는 자신의 에너지 소모량을 체크하고 이 정보를 데이터 전송 시 Payload에 실어서 전송하도록 하였다. 그림 8.의 결과에서 볼 수 있듯이 2% duty cycle with DDC algorithm에서 가장 적은 에너지를 소모하고 있으며 Message Inter-arrival Period의 증가에 완만한 에너지 소모량 증가를 보여주고 있다. 상대적으로 10% duty cycle 과 10% duty cycle with DDC algorithm에서는 높은 에너지 소모량을 보여주고 있는데 같은 10% Duty cycle임에도 DDC 알고리즘이 적용되지 않을 때 적용될 때에 비해서 일정한 크기만큼의 에너지 소모량이 많음을 확인할 수 있다. 이는 앞서 설명하였듯이 일반적인 10% duty cycle에서 Sleep Latency는 90% 구간 이하인 반면에 10% duty cycle with DDC algorithm에서 Sleep Latency는 40% 구간 이하이기 때문이다. Sleep latency가 줄어들수록 이에 필요한 Short preamble의 개수가 적어지기 때문에 전송 노드의 에너지 소모량이 줄어들게 된다. 1초의 Message Inter-arrival Period에서는 2% duty cycle with DDC algorithm가 10% duty cycle with DDC algorithm 보다 높은 에너지 소모량을 보여주는데 이는 2% duty cycle with DDC algorithm에서 sleep 구간의 길이가 1초마다 발생하는 데이터를 원활히 처리하지 못하기 때문이다. 따라서 앞서 언급하였듯이 그림 5.와 같이 데이터 트래픽이 높을 시에는 Duty cycle을 높여서 데이터 흐름을 원활하게 하는 알고리즘이 적용될 필요가 있다.

### 3. Latency & Throughput

앞서 설명하였듯이 DDC 알고리즘의 핵심 목표는 수신 구간을 분산배치 함으로서 적은 Duty cycle 증가로도 Sleep latency를 크게 줄이는 것이다. 실험에서 사용된 토폴로지는 그림 6.과 같은 Linear Ad Hoc Topology이며 Highest traffic 과 Lowest traffic 상황에서 수행되었다. Highest traffic에서는 Source 노드가 지속적으로 데이터를 발생시키며 Lowest traffic에서는 Source 노드가 보낸 데이터 하나가 Sink로 전송 완료된 후에 Source 노드에서 새로운 데이터를 발생시키게 된다. 모든 실험에서 Source 노드는 100바이트 데이터를 100개 발생시켰으며 통계적 신뢰성을 위해서 동일한 실험을 5번 반복하여 평균값을 구했다. 그림 9-(a).와 9-(b).는 각각 Highest traffic과 Lowest traffic에서의 하나의 데이터가 Source에서 Sink로 전송되기 위한 평균 전송지연을 보여주고 있다. Number of Hops는 Linear Ad Hoc Topology를 형성하는 노드의 개수를 의미하며 Number of Hops이 10일 때 총 11개의 노드가 일정한 간격으로 선형 배치되는 것을 의미한다. 결과에서 볼 수 있듯이 Highest traffic에서 10% duty

cycle with DDC algorithm에서 가장 낮은 전송지연을 보여 주고 있으며 2% duty cycle with DDC algorithm에서 10% duty cycle 보다 절반가량 더 낮은 전송지연을 보여주고 있다. DDC 알고리즘은 Lowest traffic에서 보다 더 좋은 성능을 보여주고 있는데 그림 7-(b)에서 확인 할 수 있듯이 10% duty cycle with DDC algorithm에서 10% duty cycle에 비해 약 80%가량 적은 전송지연을 보여주고 있다.

전송지연이 감소한다는 것은 그만큼 네트워크의 데이터 처리량 (Throughput)이 증가한다는 것을 의미한다. 그림 8-(a)와 그림 8-(b)에서 볼 수 있듯이 10% duty cycle with DDC algorithm에서 10% duty cycle 보다 더 많은 데이터를 처리할 수 있으며 Highest traffic에서 보다 더 나은 결과를 보여주고 있다. 또한 2% duty cycle with DDC algorithm은 10% duty cycle 보다 80% 정도 적은 에너지를 소비하면서도 보다 나은 전송지연과 처리량 성능을 보여주고 있다. 따라서 우리는 DDC algorithm은 비동기방식의 MAC 프로토콜에서 에너지 소비를 줄이면서도 전송지연과 데이터 처리량 성능을 높여주는 것을 실험을 통해서 확인할 수 있었다.

## V. 결론

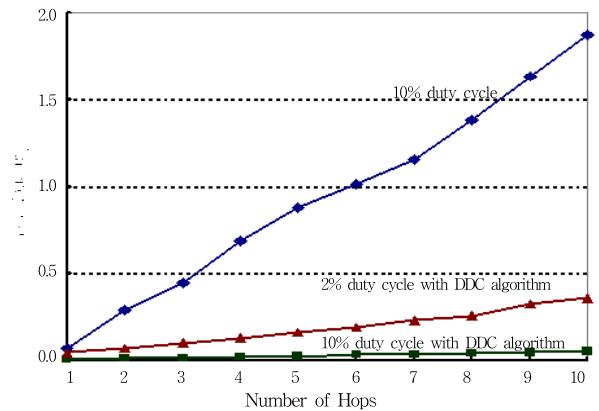
우리는 본 논문에서 무선 센서 네트워크가 텔레메틱스와 같은 복잡한 시스템에 적용이 가능한지와 전송지연이 왜 문제시 되는가 설명하였다. 이에 수신구간의 분산배치 (Distributed Duty Cycling, DDC)을 통해 전송지연을 크게 줄이는 기법을 제안하였다. DDC 알고리즘은 필드 테스트를 통해 검증되었으며 실험결과를 통해서 전송지연과 에너지 소비량을 크게 줄일 수 있음을 확인하였다.

### Acknowledgment

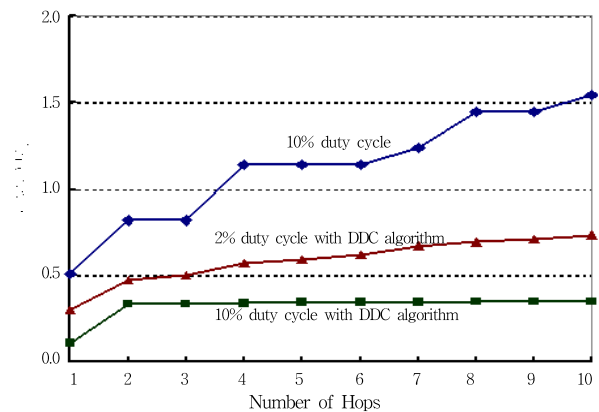
This work is supported by Seoul R&D program.

### 참고문헌

- [1] Chipcon CC2420 Radios. <http://www.chipcon.com>
- [2] Chipcon CC2420DBK. <http://www.chipcon.com>
- [3] Tmote sky. <http://sentilla.com>
- [4] J. Byun, W. Shim, and W. Hong, "WSN-based Intelligent Telematics System", IEEE ECBS, 2006.
- [5] E. Lee, M. Kim, B. Jang, and M. Kim, "A Design of Telematics Application Framework on Ubiquitous Sensor Networks", W2GIS(LNCS 3833), 2005.
- [6] W. Ye, J. Heidemann, D. Estrin, "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, 2004.
- [7] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile low power media access for wireless sensor networks", SenSys, 2004.
- [8] M. Buettner, G. Yee, E. Anderson, and R. Han, "X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol For Duty-Cycled Wireless Sensor Networks", SenSys, 2006.
- [9] S. Sheu, Y. Shih and L. Chen, "An adaptive interleaving access scheme (IAS) for IEEE 802.15.4 WPANs", Vehicular Technology Conference, 2005.
- [10] Y. Kwon and Y. Chae, "Traffic Adaptive IEEE 802.15.4 MAC for Wireless Sensor Networks," LNCS 4096, 2006.
- [11] V. Christopher, G. Deepak, and B. Andrew, "Adaptive Control of Duty Cycling in Energy-Harvesting Wireless", IEEE SECON 2007

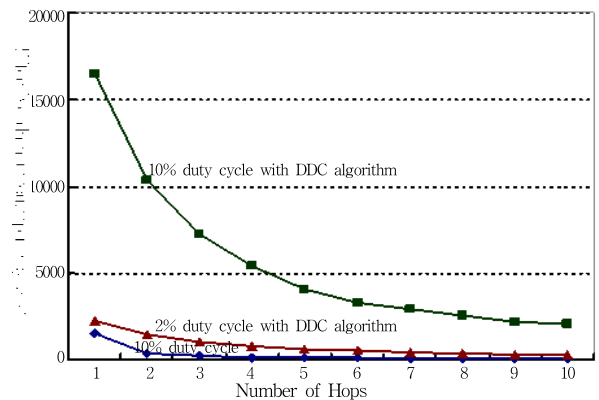


(a) Lowest Traffic

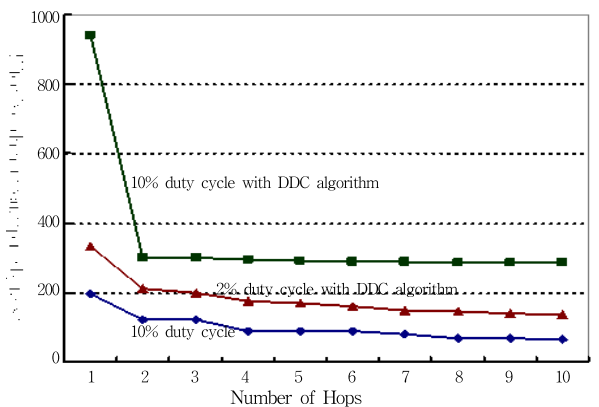


(b) Highest Traffic

<그림 9> Mean message latency



(a) Lowest Traffic



(b) Highest Traffic

<그림 10> Throughput