

# 무선 센서 네트워크 환경에서 에너지 소비 및 QoS를 고려한 예약기반 Multichannel CSMA 프로토콜

정희원 한 정 안\*, 김 윤 형\*, 이 문 호\*\*, 김 병 기\*\*\*

## Reservation based Multichannel CSMA Protocol for Improvement of Energy Consumption and QoS in Wireless Sensor Networks

Jung Ahn Han\*, Yun Hyung Kim\*\*, Moon Ho Lee\*\*\*, Byung Gi Kim\*\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

무선 센서 네트워크 환경에서 각 계층 프로토콜을 설계할 때 에너지 소비를 최대한 줄임으로 노드의 생존 시간을 최대화하기 위한 노력이 필요하다. 본 논문에서는 MAC 계층에서 채널 접근 과정에서 충돌로 인한 에너지의 소비를 최소화하기 위한 예약기반 다중 채널 CSMA MAC 프로토콜을 제안한다. 네트워크를 구성하는 각 노드는 제어채널과 데이터 채널을 독립적으로 운용하며 제어 채널을 이용하여 데이터 전송을 위한 채널을 예약하고 예약된 노드들에게 수신 노드가 채널 이용을 허가함으로써 임의의 시간에 재전송하는 절차를 생략할 수 있도록 하였다. 또한, 송신 노드에서 가용 채널 중 임의의 채널을 선택하여 수신 노드에게 전달하면 수신 노드에서 채널의 가용 여부를 판단하여 그 결과를 통해 최종적으로 전송 채널을 선택하도록 하였다. 성능의 평가는 시뮬레이션을 통하여 기존의 방식과의 차이를 비교하였다.

**Key Words** : Wireless sensor networks, MAC, Energy efficiency

### ABSTRACT

One of the consideration things to design protocol in wireless sensor networks is to maximize lifetime of sensor node as reducing energy consumption. In this paper propose reserve based multichannel CSMA mac protocol for minimizing energy consumption which arise from collision and waiting retransmission at channel access process in mac layer. Each sensor node which constitute sensor networks has data channel and control channel. And as sensor node reserve channel for data transmission by using control channel and receipt node allow reservation node to use data channel, sending node can abbreviate try of retransmission after random interval time. Also, When sending node delivers selects option channel in available channels to receipt node, the receipt node decide whether the channel is available to oneself and through the result select transmission channel ultimately. Performance evaluation compare with previous simple multichannel CSMA.

### I. 서 론

센서 네트워크란 환경 모니터링, 의료 시스템, 로봇 탐사 등과 같은 다양한 분야에 응용될 수 있는

네트워크 기술로써 다수의 노드들은 근접한 거리 또는 실내 환경에서 센싱 능력과 정보처리 능력, 그리고 무선 통신 능력을 가지며 multi hop 무선 네트워크를 구성하여 정보를 제공한다<sup>1, 2, 3</sup>.

\* 숭실대학교 컴퓨터학과 컴퓨터구조연구실 (jahan153@gmail.com 현 Univ. of Illinois at Urbana-Champaign 박사후연수 중, yh-kim602@hanafos.com),

\*\* 청운대학교 멀티미디어학과(mhlee@chungwoon.ac.kr), \*\*\* 숭실대학교 컴퓨터학부(bgkim@comp.ssu.ac.kr)  
논문번호 : KICS2005-02-074, 접수일자 : 2005년 2월 21일, 최종논문접수일자 : 2007년 2월 15일

현재 개발되는 대부분의 센서 네트워크의 각 노드는 1센티미터 내외의 작은 크기를 가지며 100  $\mu$ W 내외의 전력을 소비하는 노드들이 다량으로 한 지역에 흩어져서 망을 구성하도록 설계된다<sup>4, 5</sup>. 또한, 센서 네트워크는 ad hoc 네트워크 노드와 비교할 때 훨씬 많은 수의 노드가 밀집된 망을 구성하고 있으며, 노드들이 에러가 발생할 수 있는 가능성이 높으며, 토폴로지가 매우 자주 변하는 특성을 가지고 있다. 또한 ad hoc 망과 달리 센서 네트워크는 브로드캐스트를 이용하여 노드간의 통신이 이루어진다. 무엇보다 작은 크기와 외부 환경에 고정 또는 노출되어 있는 노드의 특성상 센서 네트워크의 노드들은 전력을 임의의 시간에 공급받기보다 매우 제한된 전력을 이용하여 주어진 임무를 수행하여야 하는 특성을 가지고 있다. 이러한 네트워크의 특성으로 인해 기존의 무선 네트워크 및 무선 ad hoc 네트워크 환경에서 제안된 많은 프로토콜들이 센서 네트워크 환경에 적합하지 않은 경우가 많기 때문에 새로운 환경에 맞는 프로토콜이 제안되어야 한다. 특히, 일부 노드가 전력을 모두 소비하여 제 기능을 수행하지 못하는 경우에 네트워크의 토폴로지의 변경을 가져오게 되고 또한 재라우팅 및 재송신을 요구해야하는 상황이 발생되기 때문에 전력의 효율적인 관리는 센서네트워크에 있어서 해결해야 하는 가장 중요한 연구 분야 중의 하나이다<sup>3</sup>.

무선 센서네트워크의 전송형태는 1:다 형태의 브로드캐스팅과 다:1의 Multiple access 형태로 이루어진다. 본 논문에서는 각 노드에서 발생한 데이터를 충돌로 인한 손실을 최소화 하여 sink노드로 전송하기 위한 mac프로토콜을 설계하고 성능을 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 장에서는 센서 네트워크 환경에서의 MAC 프로토콜의 요구사항을 살펴보고 3장에서 기존에 제안된 MAC 프로토콜을 살펴본다. 4장에서 본 논문에서 제안하는 MAC프로토콜을 설명하고 5장에서 시뮬레이션을 통해 그 성능을 평가하였다. 마지막으로 6장에서 결론 및 향후 연구 과제를 기술하였다.

## II. MAC for Sensor Networks

제한된 무선 자원을 보다 많은 수의 노드들에게 할당하기 위한 MAC 프로토콜은 센서네트워크 환경에서 전체 망의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있는 중요한 부분을 차지한다. MAC 프로토콜의 설계에

있어서 기존의 셀룰러 네트워크, Wireless LAN, ad-hoc 무선 네트워크 환경에서 일반적으로 사용자에게 높은 QoS를 보장하기 위하여 대역폭과 채널의 공정한 배분과 최소의 지연, 그리고 최대한의 처리량을 높이기 위한 알고리즘이 연구되어 왔다<sup>4, 5</sup>. 그러나 센서 네트워크 환경을 고려할 때, 에너지의 낭비를 최소화하며 노드의 추가 삭제를 고려한 Scalability를 고려한 MAC프로토콜이 연구되어야 한다<sup>11</sup>.

현재 연구되고 있는 센서 네트워크 환경을 위한 MAC 프로토콜은 UC Berkely, UCLA, MIT 등에서 주도적으로 개발이 이루어지고 있으며 많은 경우 네트워크를 구성하는 노드들의 생존 시간을 향상시키기 위한 노력이 계속되고 있다. 제안된 방법은 각 노드가 데이터를 전송할 때 충돌을 회피함으로써 재전송의 확률을 낮추는 방법과 프레임의 길이를 조절하여 최소한의 길이를 갖는 프레임을 전송함으로써 비트 당 에너지 소비를 줄이는 방법, 그리고 브로드캐스팅 된 정보의 overhearing을 낮추기 위한 방법과 각 노드의 파워를 직접 관리하는 방법 등으로 구분할 수 있다. Medium access 방식으로는 크게 TDMA 방식을 중심으로 한 Centralized 방식과 CSMA 방식을 중심으로 한 distributed방식으로 구분할 수 있으며<sup>11, 9, 10</sup>. 또한 표 1에서와 같이 다양한 방식으로 MAC 프로토콜의 방식에 따라 나누어 질 수 있다<sup>11</sup>.

먼저, wireless ad-hoc 환경에서 제안된 Power Aware Multi-Access protocol with Signalling for Ad Hoc Networks(PAMAS)은 경쟁 기반 방식을 이용하여 한 노드에서 목적지 노드로 데이터를 전송할 때 이웃 노드들의 overhearing으로 인한 불필요한 에너지의 낭비를 막기 위해서 overhear 전송일 경우 대기(idle)상태에서 파워를 off 하도록 하는 알고리즘을 제안하였다<sup>12</sup>. 하지만 PAMAS는 idle모드를 배제하지 못하였고 파워를 다시 on하는 시기를 결정하기 위한 절차가 필요하다.

표 1. MAC 프로토콜의 구분

Centralized	Distributed
Random access	Scheduling
Single channel	Multi channel
Dynamic allocation	Fixed assignment

TDMA방식을 이용한 MAC 프로토콜은 다음과

같다. LEACH 프로토콜<sup>[13]</sup>과 같이 무선 ad hoc 센서 네트워크에서 클러스터 관리 노드를 두어 다중 접근이 가능하도록 하는 방식이 제안되었다. S. Coleri, A. Puri와 P.Varaiya는 에너지 공급의 제한이 없는 AP(Access Point)를 이용하여 TDMA 망을 구성하였으며<sup>[9]</sup>, W.Ye, j. Heidemann, D. Estrin은 대기시간 동안의 에너지 소비를 감소시키기 위해 각 노드가 주기적으로 listening 모드와 sleep 모드를 갖도록 하는 S-MAC<sup>[11]</sup>을 제안하였다. 또한 UCLA에서 제한한 SMACS 과 EAR<sup>[14]</sup>에서는 base station과 같은 장치 없이 지역 노드 간에 TDMA 망을 구성하는 방법을 제안하였다. 데이터를 송·수신할 때 한 번에 두 노드 간에만 super frame 구조를 이용하여 통신이 이루어지도록 하였다. 그러나 이와 같이 TDMA 방식을 중심으로 한 centralized MAC프로토콜은 contention based 방식과 비교해서 충돌의 위험을 줄일 수 있기 때문에 에너지 소비의 효율을 높일 수 있으나 망의 상태가 자주 변화하고 또한 노드의 추가와 같은 망의 확장에 유연성이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

그 밖의 에너지 소비를 감소하기 위한 MAC 프로토콜로서 MAC header의 오버헤드를 줄임으로써 비트 당 에너지 소비를 낮추는 방법<sup>[15]</sup> 등이 제안되었다.

### III. Multichannel CSMA Protocol

본 논문에서는 여러 이웃 노드들로부터 동시에 데이터의 전송이 발생할 때 충돌이 일어남으로 인해 재전송으로 인한 에너지의 낭비를 막기 위하여 Multichannel CSMA 방식에 기반을 둔 채널 예약 프로토콜을 설계하고 성능을 평가한다. 그림 1에 multichannel mac 프로토콜의 특징을 표현하였다. 기존에 ad-hoc 환경에서 제안된 가장 기본적인 Multichannel CSMA 기반 프로토콜은 랜덤하게 M개의 채널중의 하나를 선택하여 N개의 노드가 데이터를 전송하도록 하는 방식이 제안 되었다<sup>[16]</sup>. HRMA방식은 time slot을 다시 여러 주파수 대역으로 구분한 time-slot 예약 방식의 하나로서 운용을 위한 carrier sensing이 없이 slow frequency hopping방식을 이용하여 효율의 향상을 기대하였다<sup>[17]</sup>. 또한 Asis nasipuri 등은 multichannel CSMA에 기반한 MAC 프로토콜을 몇 차례 제안하였다. soft channel 예약 방식<sup>[18]</sup>은 기본적으로 데이터 전송 시, 가장 최근에 사용한 채널의 재사용을 시도하

며 채널이 사용 중일 경우에 다른 채널을 이용하여 매체 접근을 시도하는 soft channel reservation 방식을 이용한다. [19]에서는 채널 사이의 간섭으로 인한 데이터의 손실을 막기 위해 가장 낮은 전송 파워를 가지는 채널에 데이터를 할당하는 방식을 제안하였다. [20]에서는 수신측에서 보다 명확한 채널을 얻기 위해 RTS-CTS 시그널을 이용하여 [19]에서 제안된 알고리즘을 확장함으로써 그 성능을 향상하였다. MMAC 프로토콜<sup>[21]</sup> 및 [22]에서는 수신 노드가 PCL(preferable channel list) 및 Multi Channel Table을 이용하여 이용할 채널을 선택한 후 다시 송신 노드에게 통보함으로 충돌을 최소화하는 방법을 제안하였다. 그러나 이전에 제안된 방식은 distributed 방식의 센서 네트워크의 환경에 적용하기 힘들거나 각 노드에서 가용 채널 정보에 대한 정보를 모두 알아야 하는 등 처리해야하는 정보의 양이 많기 때문에 에너지 소비를 우선적으로 고려해야하는 센서네트워크 환경에서 개선이 필요하다.

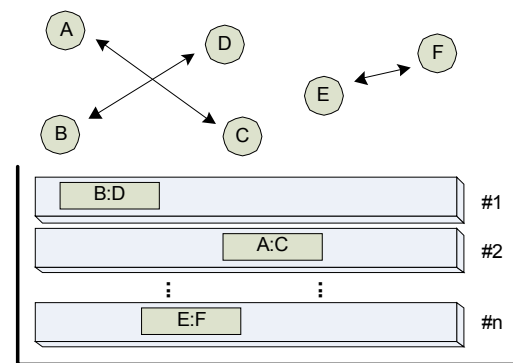


그림 1. multichannel mac protocol

### IV. 제안 channel selection 알고리즘

IEEE 802.11b의 경우 2.4GHz ISM 밴드에서 14개의 채널을 이용하여 데이터를 전송할 수 있으며, IEEE 802.11a에서는 12개의 54Mbps 대역폭을 갖는 독립 채널을 이용할 수 있다. 또한 CDMA radio는 60개 이상의 채널을 제공한다. 본 논문에서 무선 센서 네트워크의 사용 주파수 대역폭은 5GHz의 ISM 주파수 대역으로 사용하며 한 네트워크에 할당된 주파수 대역은 다시 여러 개의 지역적인 sub 채널로 나누어 사용한다. 또한 1Mbps이하의 데

이터 전송률을 지원하며 여러 개의 서브 채널을 가용할 수 있다고 가정한다. 각 노드는 제어채널과 데이터 채널은 서로 독립적으로 운용되며 각 채널은 반이중(half-duplex)방식으로 통신한다.

#### 4.1 전송 예약

에너지 소비를 최소화하기 위하여 노드간의 데이터 충돌을 방지하고 재전송 횟수를 최소화 하는 매체접근 방식이 필요하다. 본 논문에서는 한 노드에 여러 노드로부터 데이터의 전송이 필요한 경우 제어 채널을 이용하여 수신 정보를 버퍼링을 통해 예약해 놓음으로써 송신하고자 하는 노드들이 임의의 시간에 재전송을 시도하는 노력을 최소화 하도록 하였다. 전송 예약 절차는 그림 2에서와 같다. 각 노드의 전송채널과 제어채널은 서로 독립적으로 운용된다. 노드 B에서 노드 A로 RTS 신호를 보내 데이터의 전송을 알리면 노드 A는 수신 가능한 경우 CTS 시그널을 이용하여 정상적으로 데이터 송, 수신이 가능하도록 한다. 만약, 노드 C와 같이 데이터 채널을 이용하여 정상적으로 데이터 전송이 이루어지는 동안에 다른 노드에서 수신 노드로 데이터의 전송이 필요한 경우에, 노드 C는 노드 A에게 RTS\* 시그널을 통하여 다음 라운드에서의 자신의 데이터 전송을 예약한다. 노드 A는 데이터의 수신 절차와 관계없이 자신의 수신예약 버퍼에 노드 C로부터의 전송 요청을 예약하고 노드 C에게 RES\_CONFIRM 시그널을 보냄으로써 예약이 이루어졌음을 알린다. 노드 B로부터 데이터의 수신이 완료되는 때에 노드 C에게 CTS\* 시그널을 전송함으로써 노드 C가 데이터를 송신할 수 있도록 한다.

버퍼의 크기가 n개이고 충돌이 없이 데이터를 전송하는 경우의 에너지 소비를  $\alpha_s$ , 충돌이 발생하였을 경우 재전송 시도로 인해 추가로 필요한 에너지를  $\alpha_f$  라고 할 때 채널 예약 방식으로 인해 절감되는 에너지의 기대값은 다음과 같다.

$$E[A] = \alpha_s p(s) + \alpha_f p(f) - \left[ \sum_{k=0}^{n-1} \binom{n}{k} p_b^k \alpha_s + p_b^n \alpha_f \right] \quad (1)$$

여기서  $p_b$  는 하나의 수신 예약 버퍼가 비어있을 확률이다.

#### 4.2 채널 할당

본 논문에서 제안하는 채널할당 방식은 다중채널

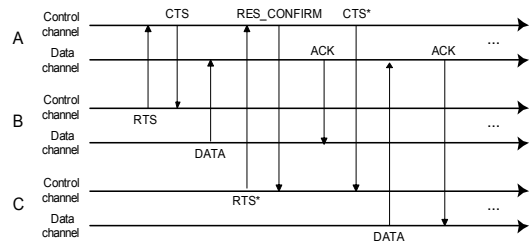


그림 2. 송신 예약 절차

CSMA기반 방식을 기반으로 하여 제어 채널을 사용하여 데이터 채널의 선점을 시도하고 만약 채널이 사용 중인 경우에 동적으로 수신측에서 가용채널을 선택하여 송신 시도 노드에게 알림으로 신속하게 데이터 전송이 이루어지도록 한다. 센서 네트워크가 그림 3과 같은 토폴로지를 이루고 있을 때 그림 4에서 채널 선택 절차를 보인다.

노드 B에서 데이터 송신을 위해 channel #3으로 접근을 시도하면 수신 노드 A는 현재 가용채널의 상태를 파악하고 요청된 채널의 사용이 가능하면 Recognition 메시지를 전송함으로써 채널의 사용을 허가한다. 또한 노드 C에서 노드 A로 데이터 전송을 시도하는 경우 데이터 전송을 RTS\* 와 RES\_CONFIRM 메시지를 통해 버퍼에 전송을 예약이 이루어지고 노드 B로부터의 전송이 완료된 후 노드 A에서 가용 채널 중 임의의 채널 하나를 선택하여 노드 C에게 channel #2의 사용을 허가한다. 노드 C는 자신과 주변의 채널 상황을 파악한 후 이상이 없을 경우 channel #2를 통하여 데이터를 전송한다. 또한, 노드 E에서 노드 D로 데이터의 전송을 시도하는 경우 채널의 사용을 노드 D에게 통지하고 노드 D는 이웃 노드에서 채널을 사용하고 있으므로 대체 채널을 사용하도록 Substitution 메시지를 통하여 channel #1의 사용을 노드 E에게 권고한다. 이때, 노드 E에서 해당 채널을 사용할 수 없는 경우 다시 Re\_substitution 메시지를 이용하여 새로운 채널로의 접근을 시도한다.

그림 3과 같이 총 가용 채널수가 c이고, 각 n개의 노드로 이루어진 두 네트워크가 메쉬형태로 연결되어있고 게이트웨이 역할을 하는 두 노드를 통하여 연결되었다고 가정하면, 임의의 두 노드 간에 데이터 전송이 이루어 질 때, 다른 노드로부터 동일한 채널의 사용을 위한 RTS 메시지가 수신되어 Substitution 메시지를 이용하여 채널 변경이 요구될 경우의 확률은 다음과 같다. 단, 노드에서 전송하는 메시지의 길이는 모두 같다고 가정한다.

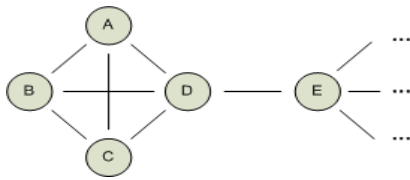


그림 3. 센서네트워크 토폴로지 예

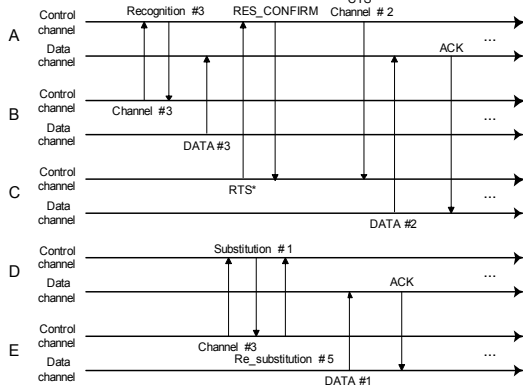


그림 4. 채널 선택 절차

$$P_{substitution} = \frac{\Delta TN_{cu}}{cT_{s,t}} \quad (2)$$

$T_{s,t}$ 는 각 노드에서 데이터를 전송하고 종료하기까지의 시간이며  $N_{cu}$ 는 사용되는 채널의 총 합이다. 여기서 기존의 단순 multichannel CSMA 방식을 사용하는 경우 네트워크의 채널 사용률이 높을 때 동일한 채널의 사용 요구 확률이 높아짐으로 back-off 시간 후 재전송을 시도하는 횟수가 늘어나게 된다. 따라서 본 논문에서 제안하는 채널 예약 방식 및 채널 선택 알고리즘을 사용하여 재 전송률을 낮춤으로 전체 에너지 소비를 낮출 수 있다.

그림 5에서 본 논문에서 제안하는 채널 예약 및 선택 알고리즘을 표현하였다.

### V. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 예약기반 Multichannel CSMA 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션 도구를 구현하여 기본 multichannel CSMA 방식과 비교하여 에너지 소비 및 처리율, 지연율을 비교하였다.

#### 5.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 토폴로지는 50개의 센서 노드가 grid

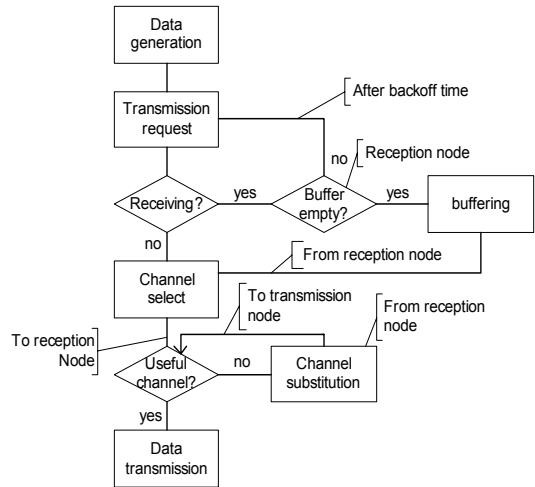


그림 5. 제안 채널 예약선택 방법

형태로 구성된 센서 네트워크 환경을 설정하였으며 이를 확장하여 100개의 노드로 구성된 센서 네트워크를 구성하여 성능을 평가하였다. 또한 데이터의 전송을 위한 라우팅 방식은 direct diffusion 방식을 이용하였다. 데이터의 흐름은 하위의 노드에서 발생된 데이터를 상위 Sink 노드로 전송하도록 하였으며 이 과정에서 일어나는 채널 접근 및 선택 절차에서 일어나는 메시지의 전송에 따른 에너지의 소비 및 지연을 측정하였다. 비교 대상으로는 기존의 단순 Multichannel CSMA 방식을 대상으로 하였다. 단순 Multichannel CSMA 방식은 다중 채널 구조를 가지고 있으며 각 노드에서 송, 수신시 채널을 선택하는 과정에서 송신 노드가 임의의 채널을 선택하고 만약 그 채널을 수신 노드에서 사용하지 못하는 경우 다시 송신 노드에서 임의의 채널을 선택하여 재전송한다. 또한 송신 노드가 수신 노드에게 데이터를 전송하려 할 때, 수신 노드에서 버퍼를 이용하여 송신 노드의 정보를 저장하는 대신 수신 노드가 작업 중이면 랜덤 시간 동안 대기한 후에 다시 재전송을 시도한다. 단순 Multichannel CSMA 방식에서 사용되는 채널의 수는 본 논문에서 제안하는 알고리즘에서 사용된 채널의 수와 동일하게 설정하였다.

총 100sec의 시뮬레이션 시간을 통하여 두 알고리즘의 성능을 비교하였으며 메시지의 크기는 128 Byte의 패킷 크기를 가지며 비트 당 에너지 소비는 1.03μJ/bit를 가진다. 이벤트의 발생은 CBR의 특성을 가지며 생성되고 발생된 이벤트 정보는 처리 가능한 노드에서 무작위로 처리하여 전송하도록 하였

으며 노드에서 처리되는 데이터의 발생 간격을 10000, 5000, 1000, 800, 600, 400, 200, 10msec 단위로 나누어 에너지의 소비 및 QoS 성능을 평가하였다. 사용되는 채널의 수는 50개의 노드에서 총 10개의 채널을 사용하였으며 100개의 노드에서 12개의 채널을 공유하여 사용하도록 하였다. 또한 채널의 예약에 필요한 각 센서 노드에서의 버퍼 크기는 10개의 메시지를 관리하는 것으로 가정하였다. 시뮬레이션에 사용된 파라메타는 표 2에 나타내었다.

표 2. 시뮬레이션 파라메타

Items	Application
Number of nodes	50, 100 node
Packet size	128 Byte
Simulation time	100 sec
Data generation	Constant interval rate
Buffer size	10
Number of channel	10, 12 channel
Packet processing delay	50 ms
Energy consumption	1.03μJ/bit

## 5.2 시뮬레이션 결과 및 분석

5.1 에서 언급한 시뮬레이션 환경을 기본으로 하여 50, 100개의 센서 노드로 구성된 센서 네트워크에서 제안 알고리즘과 단순 Multichannel CSMA 방식을 비교하였다. 시뮬레이션 시간 동안의 처리율과 지연에 따른 성능의 평가가 이루어 졌으며 두 방식의 메시지 전송에 기반한 에너지의 소비량을 측정하였다. 마지막으로 노드의 수에 따라 기존 방식에 대한 제안 알고리즘의 성능 향상을 비교하여 그림 6에서 그 결과를 나타내었다.

그림 6의 (a), (b)에서는 데이터의 발생시간의 간격에 따른 처리율을 비교하여 나타내었다. 먼저 그림 6의 (a)에서는 50개의 노드로 이루어진 센서 네트워크에서 이벤트의 발생 빈도에 대한 처리율을 비교하였다. 데이터의 발생간격이 1000ms를 넘어서는 경우 데이터의 발생 간격 및 수량이 각 노드에서의 처리 속도 및 제어 데이터의 처리에 필요한 시간보다 적기 때문에 비슷한 성능을 보이나 데이터의 발생 간격이 조밀하게 생성되는 경우 그 성능의 차이를 보인다. 1000ms 이하로 발생 간격이 조밀되는 경우 비슷한 차이를 보이며 제안 알고리즘

을 적용하는 경우 약 33%의 성능의 향상을 가져올 수 있다. 그림 9의 (b)에서는 노드 100개로 이루어져 있는 센서 네트워크에서의 단위시간당 패킷 처리율을 나타내었다. 50개의 센서 노드로 구성되어 있는 경우와 비슷한 추세의 성능을 보이며 1000ms를 기점으로 하여 데이터의 발생이 밀집되는 경우 제안하는 알고리즘을 사용할 때 일정한 성능의 향상을 나타내었다. 데이터의 발생이 평균 5000ms의 간격을 보일 때 약 5%의 성능 향상을 보이다가 데이터의 발생이 약 1000ms의 간격 이하로 조밀하게 생성되는 경우 약 16%의 성능 향상을 보인다.

그림 7의 (c), (d)에서는 데이터의 발생시간 간격에 따른 평균 지연을 비교하여 나타내었다. 그림 7의 (c)에서는 50개의 노드로 이루어진 센서 네트워크에서의 평균 지연을 데이터의 발생 간격에 따라서 그래프로 나타내었다. 제안 알고리즘을 적용하는 경우 제어 데이터의 메시지 전송의 횟수가 기존의 방식과 비교하여 감소하는 점과 수신 노드에서의 버퍼링 작업으로 인한 지연의 최소화를 가져오므로써 그에 따른 전체 네트워크에서의 시간의 지연을 줄일 수 있었다. 기존의 방식과 비교하여 약 20~23%의 성능 향상을 가져올 수 있었다. 그림 7의 (d)는 100개의 센서 노드로 이루어진 네트워크에서의 지연을 나타내었다. 50개의 노드로 이루어진 네트워크와 비교하여 홉 수가 상대적으로 많기 때문에 그에 따른 지연이 증가하였으며 그림 7의 (c) 그래프와 비슷한 추세를 나타낸다. 1000ms의 발생 시간 간격을 기준으로 더 조밀한 데이터의 발생이 일어나는 경우 일정한 성능을 보이며, 모든 발생 시간 간격에 대해 약 13~16%의 성능 향상을 가져오는 결과를 보였다.

그림 6의 (e), (f)는 데이터의 발생 시간 간격에 대한 에너지 소비의 비교를 하여 그래프로 나타내었다. 그림 6의 (e)에서는 50개의 노드로 구성된 센서 네트워크의 데이터 발생 시간의 간격에 따른 에너지 소비를 비교하여 나타내었다. 에너지 소비는 데이터의 전송과정에서와 제어 메시지의 송, 수신 과정에서 발생되는데 제안 알고리즘을 사용하는 경우 제어 메시지의 발생 비율이 기존의 방식과 비교할 때 상대적으로 낮기 때문에 전체 에너지의 소비 향상을 가져올 수 있었다. 위 시뮬레이션 결과에서의 처리율, 지연을 나타낸 결과와 같이 지연 및 처리율에 따라 소비되는 에너지의 양의 그래프도 비슷한 추세의 곡선을 그린다. 1000ms 이하로 데이터의 발생 시간 간격이 조밀해 지면 거의 평형상태를

이루며 일정한 성능을 나타내게 된다. 제안 알고리즘을 적용하는 경우 약 34~49%의 에너지 소비의 절감을 가져올 수 있다. 그림 6의 (f)에서는 100개의 노드로 구성된 센서 네트워크의 데이터 발생 시간의 간격에 따른 에너지 소비를 비교하여 나타내었다. 그림 6의 (e)에서와 마찬가지로 비슷한 추세의 그래프를 나타내었으며 홉 수가 상대적으로 많아짐에 따라 각 홉마다 발생하는 제어 데이터의 량과 재전송으로 인한 에너지의 소비가 발생되기 때문에 에너지의 소비량 및 소비량의 비도 더 큰 차이를 보였다.

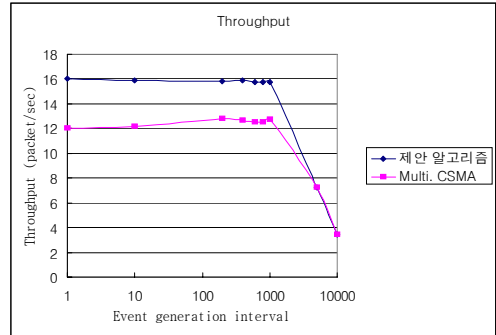
그림 6의 (g)에서는 데이터 발생 시간의 간격이 1000ms인 경우 제안 알고리즘을 적용하였을 때 기대할 수 있는 성능 향상의 정도를 그 항목에 따라 그래프로 나타내었다. 제안 알고리즘을 사용하는 경우 에너지의 소비, 처리율, 지연 시간 등의 각 항목에서 고르게 성능의 향상을 가져올 수 있었으며 에너지 소비의 항목에서 특히 큰 성능의 향상을 나타내었다.

## VI. 결론

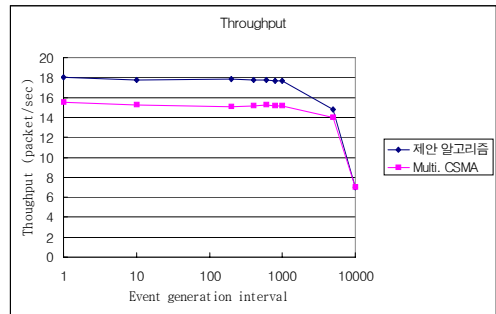
센서 네트워크에서 가장 중요하게 다뤄지는 연구 분야는 노드의 생존시간의 향상을 위한 각 계층에서의 프로토콜 및 알고리즘의 설계이다. 또한 센서 네트워크의 응용 분야의 특성을 살펴보면 주로 긴급한 상황이나 현상을 Sink노드에게 알리고자 하는 역할이 주어진다. 따라서 본 논문에서는 에너지의 소비와 함께 처리율 및 지연시간에 대한 성능의 향상을 가져올 수 있도록 하는 예약기반 Multichannel CSMA방식을 제안하고 성능을 평가하였다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 수신 노드에서 버퍼를 가지고 자신이 해당 요구를 수용할 수 없을 때 미리 그 수신 정보를 가지고 있음으로 자신의 임무가 완료되었을 때 예약한 송신 노드에게 그 사실을 알려줌으로써 지연 및 불필요한 제어 메시지의 수를 감소하였으며 송, 수신 노드 모두 자신이 사용 가능한 채널을 가지고 협상함으로써 채널의 선택에 필요한 제어 데이터의 발생 수를 줄이고자 하였다. 에너지의 소비, 단위시간당 패킷 처리율 및 지연 시간의 세 분야에서의 성능 향상을 검증하기 위한 실험이 이루어 졌으며 모든 항목에서 고르게 성능의 향상을 보일 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 예약기반 Multichannel CSMA방식을 사용하는 경우 에너지 소비 절감으로 인한 노드의 생존

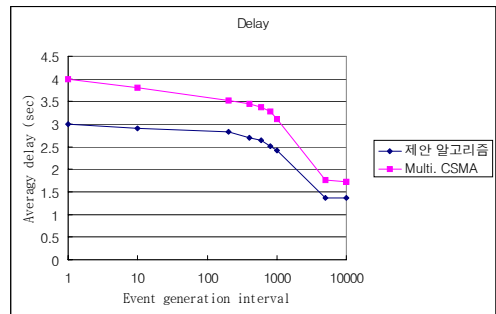
시간 연장 및 처리율, 지연의 향상으로 인한 QoS의 향상을 모두 가져올 수 있을 것으로 기대할 수 있다.



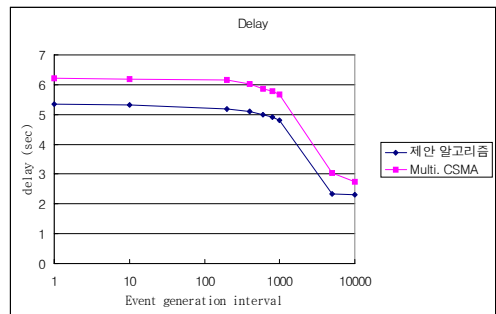
(a) Throughput (50 nodes)



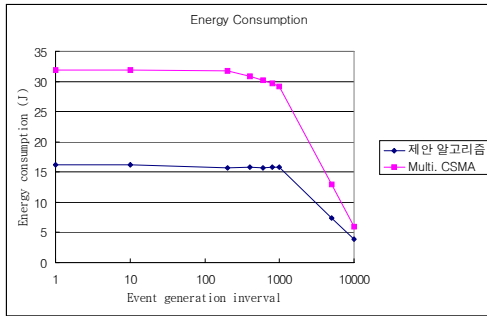
(b) Throughput (100 nodes)



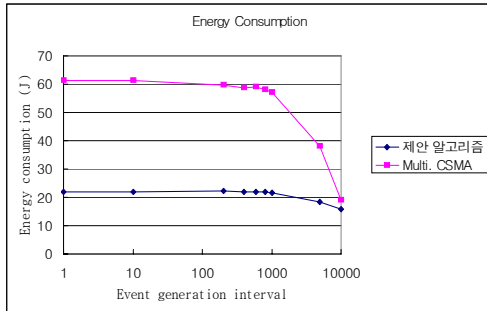
(c) Delay (50 nodes)



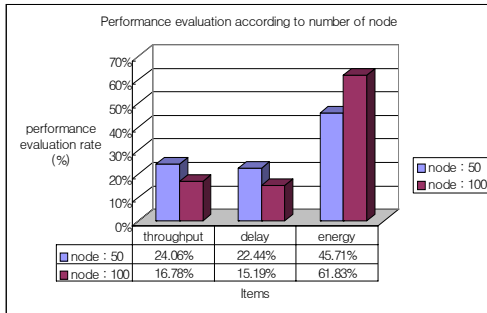
(d) Delay (100 nodes)



(e) Energy Consumption (50 nodes)



(f) Energy Consumption (100 nodes)



(g) 노드 수에 따른 효율 비교

그림 6. 시뮬레이션 결과

참 고 문 헌

[1] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in proceeding of the IEEE infocom, 2002, pp.1567~1576.

[2] Martin Kubisch, Holger Karl, Adam Wolisz, Sizhi Charlie Zhong, Jan Rabaey, "Distributed algorithms for transmission power control in wireless sensor networks," in proceeding of IEEE Wireless Communications and Networking. Mar. 2003, vol.1, pp.558~563.

[3] Ian F.Akyildiz, Weilian Su, yogesh

Sankarasubramaniam, Erdal Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, Aug. 2002, pp.102~114.

[4] Rahul C. Shah, Jan M. Rabaey, "Energy aware routing for low energy ad hoc sensor networks," IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Mar. 2002, pp.350~355.

[5] Amre El-Hoiydi "Spatial TDMA and CSMA with preamble sampling for low power ad hoc wireless sensor networks," in proceeding of the Seventh International Symposium on Computers and Communications(ISCC '02), July. 2002. pp 685~692.

[9] Sinem Coleri, Anuj Puri, Pravin Varaiya, "Power efficient system for sensor networks," in proceeding of the Eighth IEEE international Symposium on Computers and Communication (ISCC '03), pp. 837~842.

[10] Chunlong Guo, Lizhi Charlie Zhong, Jan.. M. Rabaey, "Low power distributed MAC for ad hoc sensor radio networks," IEEE GLOBECOM '01, vol. 5, Nov. 2001, pp. 2944~2948.

[11] [http://bwrc.eecs.berkeley.edu/Research/Pico\\_Radio/NAMP/presentation.htm](http://bwrc.eecs.berkeley.edu/Research/Pico_Radio/NAMP/presentation.htm)

[12] Suresh Singh, C. S. Raghavendra, "PAMAS - Power aware multi-access protocol with signaling for ad hoc networks," ACM Computer Communication Review, vol. 28, no. 3, pp. 5~26. July 1998.

[13] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, Hari balakrishnan, Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks," in proceedings of the 33rd Hawaii International conference on System Sciences, pp.3005~3014. Jan 2000.

[14] Katayoun Sahrabi, Jay Gao, Vishal Ailawadhi, Gregory J. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," IEEE Personal Communications, vol. 7, pp. 16~27. Oct 2000

[15] Gautam Kulkarni, Curt Schurgers, Mani Srivastava, "Dynamic link labels for energy efficient MAC headers in wireless sensor networks," Proceedings of IEEE, vol. 2, pp. 1520~1525, June 2002.

[16] F.L.Lo, T.S. Ng, T.I. Yuk, "Performance of multi-channel CSMA networks," in proc. Intl. conference



on Informantion, Communications and Signal Processing, pp.1045~1049, 1997.

- [17] Z.Tang, J.J.Garcia-Luna-Aceves, "Hop-Reservation multiple Access(HRMA\_for Ad-Hoc Networks," in Proceedings of the IEEE iC3N'98, Seventh International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 194~201, Oct. 1998.
- [18] Asis nasipuri, Jun Zhuang, Samir R.Das, "A Multichannel CSMA MAC Protocol for Multihop Wireless Networks," Proc. of IEEE Wireless communications and Networking Conference, pp. 1402~1406, Sept. 1999.
- [19] Asis Nasipuri, Samir R.das, "Multichannel CSMA with Signal Power-Based Channel Selection for Multihop Wireless Networks," IEEE VTC 2000, pp. 211~218, Sept. 2000.
- [21] Nitin Jain, Samir R.Das, Asis nasipuri, "A Multichannel CSMA MAC Protocol with Receiver-Based Channel Selection for Multihop Wireless Networks," Computer Communications and network, Tenth International Conference, pp. 432~439, Oct. 2001.
- [21] Jungmin So, Nitin Vaidya, "Multi-Channel MAC for Ad Hoc Netowrks:Handling multi-Channel Hidden Terminals using A Single Transceiver," ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing(MobiHoc), May. 2004
- [22] Nakjung Choi, Yongho Seok, Yanghee choi, "Multi-Channel MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," IEEE 58th VTC 2003, pp.1379~1382, Oct. 2003.

**한 정 안 (Jung Ahn Han)**

정회원



1996년 2월 : 경원대학교 전자계산학과 졸업 (공학사)  
 1998년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 석사 졸업 (공학석사)  
 2005년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 박사 졸업 (공학박사)  
 2005.6~현재 : University of Illinois

at Urbana- Champaign post doctor.

<관심분야> Wireless sensor networks, Ad hoc networks, Wireless vehicle ad hoc networks, Network reliability

**김 윤 형 (Yun Hyung Kim)**

정회원



2004년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터 학부 졸업 (공학사)  
 2006년 2월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 졸업 (공학석사)  
 2006월~현재 : Nextreaming Corporation 선임연구원  
 <관심분야> B3G 이동통신, Sensor Netowrk, Ad hoc Network vehicle

**이 문 호 (Moon Ho Lee)**

정회원



1977년 2월 : 서울대학교 공과대학 졸업 (공학사)  
 1993년 8월 : 숭실대학교 전산공학과 졸업 (공학석사)  
 1996년 8월 : 숭실대학교 컴퓨터학과 졸업 (공학박사)  
 1979년~1984년 : 한국전자통신

연구소 근무

1985~1991년 : 현대전자 근무

현재 청운대학교 멀티미디어학과 교수

<관심분야> 멀티미디어통신, 개인휴대통신, 센서네트워크

**김 병 기 (Byung Gi Kim)**

정회원



1977년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학사)  
 1979년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 졸업 (이학석사)  
 1997년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 졸업 (공학박사)  
 1977년 3월~1982년 2월 : 경북대

학교 전자공학과 전임강사

1982년 3월~현재 : 숭실대학교 컴퓨터학부 교수

<관심분야> 이동통신, 센서네트워크, 디지털방송