

홈 네트워크에서 고효율 전송을 위한 Zigbee Beacon Frame 설계

정회원 한 경 현*, 종신회원 한 승 조**, 정회원 최 현 용*

Design of Zigbee Beacon Frame for High Efficiency Transmit in Home Network

Kyoung-heon Han* *Regular Member*, Seung-jo Han** *Lifelong Member*
Hyun-yong Choi*^o *Regular Member*

요 약

무선 홈 네트워크 환경에서 넓은 확장성과 저전력이 통신이 가능한 Zigbee는 홈 네트워크에서 가장 이상적인 통신기술이다. 하지만 Zigbee는 숨겨진 단말 문제와 전송 지연 문제를 항상 가지고 있어 무선 홈 네트워크에서 많이 사용되고 있지 못하고 있다. 이런 Zigbee가 가지고 있는 두 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 새로운 프레임에 제안한다. 제안하는 프레임은 슈퍼프레임 구간을 줄여서 생기는 공간에 제어 프레임 구간을 추가하는 구조를 이루어져 있다. 새롭게 구성된 제어프레임 구간에서는 제어프레임을 이용하여 단말의 상태 정보를 교환하여 숨겨진 단말 문제를 해결할 것으로 예상된다. 또한 제어 프레임 구간과 슈퍼 프레임 구간 사이에 동기화에 사용되는 비콘을 넣어 하위 계층에서 발생하는 전송 지연 문제를 해결할 수 있다고 예상된다. 제안하는 프레임이 숨겨진 단말 문제와 전송 지연 문제를 해결하였는지 확인하기 위해 OPNET을 통해 Zigbee Qos Parameter 환경에서 시뮬레이션을 하였다. 전송 지연 문제를 해결여부를 확인하기 위해 전송지연시간을 측정하였으며, 숨겨진 단말 문제를 해결여부를 확인하기 위해 전송률과 처리율을 측정하였다.

Key Words : Zigbee, 프레임(Frame), 숨겨진 단말 문제(Hidden Node Problem), 비콘(Beacon)

ABSTRACT

Zigbee is communication technology most ideal because Zigbee support low power communication and wide expansion in wireless home network. However, Zigbee is not popular, because of Zigbee always has Hidden Node Problem and Transit Delay Problem. We propose new Beacon Frame structure to solve the two problem in Zigbee. New Beacon Frame structure reduces a Super Frame Duration and add a same space of a Control Frame Duration. We expect to solved method of Hidden Node Problem that exchange terminal information to using RTS/CTS. Also, We expect to solved method of Transit Delay Problem that put Beacon between Control Frame Duration and Super Frame Duration for synchronization. We confirm new Beacon Frame to solved two problem in OPNET simulation at Zigbee QoS Parameters. We measure Delay(sec) for solution degree of Transit Delay Problem, and measure Throughput(bits/sec) and Load (bits/sec) for solution degree of Hidden Node Problem.

* 전자부품연구원 IT융합기술지원센터 (kyhan@keti.re.kr, hychoi@keti.re.kr), (° : 교신저자)

** 조선대학교 정보통신공학과 교수 (sjbhan@chosun.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-09-398, 접수일자 : 2011년 9월 16일, 최종논문접수일자: 2011년 11월 9일

I. 서 론

무선통신 기술은 홈 네트워크를 구축하는데 우수하고 좋은 방법이지만 각각의 장단점을 가지고 있다. 홈 네트워크 구축을 위해 각 무선통신 기술의 단점을 보완하기 위한 연구를 국내외 연구소 및 대학에서는 많이 진행되고 있다.

현재 Zigbee 통신은 구축비용이 적게 소요된다는 장점과 저전력 통신이 가능하다는 장점 그리고 넓은 확장성을 가지고 있다는 장점으로 현재 무선 홈 네트워크 기술 중에서 가장 이슈가 되고 있다. 하지만 Zigbee 통신은 Beacon을 통해 동기화를 맞추어 통신을 하는 특성과 수신자의 통신 상태를 확인하지 못한다는 특성으로 인해 전송 지연 문제와 숨겨진 단말 문제를 항상 지니고 있다¹⁾.

본 논문에서는 Zigbee 통신이 지니고 있는 두 문제점을 해결하기 위해 Beacon Frame에서 Super Frame Duration 구간을 줄여서 생기는 공간에 Control Frame Duration 구간을 추가하는 Beacon Frame 구조를 제안한다. 제안하는 Beacon Frame 구조에서 Control Frame Duration 구간에서 RTS(Request to Send)와 CTS(Clear to Send)를 통해 송수신 단말의 상태 정보를 교환하는 방식을 통해 숨겨진 단말 문제를 해결할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 Control Frame Duration과 Super Frame Duration 사이에 동기화 사용될 수 있는 Beacon을 넣어 하위 레벨 단말과 통신에서 발생할 수 있는 전송 지연 문제를 해결할 수 있다고 예상된다.

이렇게 제안하는 Beacon Frame은 예상한 것처럼 전송 지연 문제와 숨겨진 단말 문제를 해결하였는지를 확인하기 위해 OPNET을 통해 Zigbee QoS Parameter 환경에 맞추어 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션에 측정 요소는 전송 지연 문제를 해결 여부를 확인하기 위해 전송지연시간인 Delay(sec)를 측정하였고, 숨겨진 단말 문제 해결 여부를 확인하기 위해 전송율인 Throughput(bits/sec)와 데이터 처리율인 Load(bits/sec)를 측정하였다.

II. Zigbee의 채널 접근 방법

Zigbee는 CSMA/CA 방식을 지원하고 있으며, 회선 결합 및 비경합 채널 액세스 방법을 모두 지원한다. Zigbee의 채널 접근 방법은 Beacon Frame의 사용 여부에 따라 두 가지 방법으로 구분된다²⁾.

첫 번째 방법은 Beacon Frame을 사용하지 않은 통

신에서는 Unslotted CSMA/CA 방식이다. Unslotted CSMA/CA은 Back-off Slot을 가장자리에 정렬을 하고 임의의 Back-off Slot만큼 기다린 후, 충돌 여부를 확인하기 위해 전력임계레벨이 -82dBm 이상으로 감지되면 현재 채널이 사용중으로 인식하는 방식인 CCA(Clear Channel Assessment)방식을 실행한다. CCA가 실패를 하게 되면, Data Frame 뒤에 전송이 되는 ACK Frame의 방해를 받지 않기 위해 Back-time을 2배로 늘리고 다시 CCA를 실행하게 된다. 이러한 방식을 5번까지 지속하여 계속 실패가 발생하면 다른 단말이 채널을 점유하고 있다고 인식하고 데이터를 전송을 하지 않는다는 방식은 센서 네트워크 구축시 많이 사용되는 방식이다.

두 번째, Beacon Frame을 사용하는 통신에서는 Slotted CSMA/CA 방식이다. Slotted CSMA /CA 방식은 Beacon을 통해 동기화를 진행하므로 Unslotted CSMA/CA 방식과는 달리 한번의 CCA 수행으로 충돌여부에 대해 판단이 가능하므로 단 한번의 CCA만 수행을 하고 실패할 경우 데이터를 전송하지 않는다²⁾. 이 방식은 주로 홈 네트워크와 대규모 센서 네트워크에서 사용되는 방식이다.

홈 네트워크에서 주로 사용되는 Slotted CSMA/CA에 사용되는 Beacon Frame의 기능은 슈퍼 프레임 을 정의하고, 네트워크를 동기화시키며, GTS (Guaranteed Time Slot)를 할당하고, 데이터 페딩 정보를 지원한다. 이러한 기능을 가지고 있는 Beacon Frame은 다음 그림 1과 같은 구조를 가지고 있다³⁾.

Beacon Frame 구조를 보면 동기화에 사용되는 Beacon과 채널 경쟁 구간인 Super Frame Duration과 비경쟁 구간으로 이루어져 있다. 이 가운데 채널 경쟁 구간인 Super Frame Duration은 하위 계층의 단말이 Beacon을 수신하게 되면 타이머를 리셋 시키고 CAP(Contention Access Period)구간으로 들어가 채널 경쟁을 하는 기능을 제공한다. 그리고 그림 1에서 볼 수 있듯이 Super Frame Duration(SD)와 Beacon Interval(BI)는 서로 영향을 미치는 구조로 이루어져 있으며 채널 경쟁 구간과 비경쟁 구간을 합친 부분이

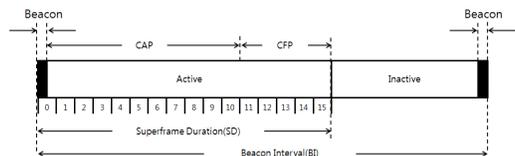


그림 1. 비콘 프레임
Fig. 1. Beacon Frame

Beacon Interval이며, 다른 의미로 정의하면 Beacon과 Beacon 사이의 간격을 나타낸다. 이 구조를 계산하는 식은 다음과 같다³⁾.

$$\begin{aligned}
 SD &= sBase\ Super\ Frame\ Duration \times 2^{SO} \\
 &= aNum\ Sfer\ Frame\ Duration \times 2^{SO} \\
 &= 16 \times 60 \times 2^{SO}\ Symbol
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 BI &= sBase\ Super\ Frame\ Duration \times 2^{BO} \\
 &= aNum\ Super\ Frame\ Slot \times aBase\ Slot \\
 &\quad \times aBase\ Slot\ Duration \times 2^{BO} \\
 &= 16 \times 60 \times 2^{BO}\ Symbol
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

위 식(1)과 식(2)에서 SO(Super Frame Order)와 BO(Beacon Order)는 Super Frame Duration의 길이와 같은 0에서 15사이의 값을 가지며 SO는 BO보다 항상 작거나 같다.

BO와 SO값의 차이에 따라 하나의 Super Frame 내에서의 실제로 데이터 전송이 발생하는 Active 구간의 비율을 구할 수 있는 이것을 Duty Cycle라고 한다.

표 1. Duty Cycle
Table 1. Duty Cycle

BO와 SO의 차이	Duty Cycle (%)	BO와 SO의 차이	Duty Cycle (%)
0	100	6	1.56
1	50	7	0.78
2	25	8	0.39
3	12.5	9	0.195
4	6.25	≥10	< 0.1
5	3.13		

III. Zigbee 의 통신 문제점

Zigbee 통신은 2.4GHz의 대역을 7MHz(채널 간격 5MHz, 채널 대역폭 2MHz)로 16개의 채널을 분할하여 사용하고 있는 통신 기술이다. DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum) 변조 방식을 지원하여 스타형, 메쉬형 등 여러 형태로 네트워크 구성이 가능하며 최대 65,536개의 장치까지 확장이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또 다른 장점은 저전력으로 통신이 가능하여 배터리 하나로 100~1000일 동안 통신이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 현재 홈 네트워크 및 여러 응용분야에서 가장 이슈가 되고 있는 통신 기술이지만 숨겨진 단말 문제와 전송 지연 문제가 자주 발생한다는 문제점을 가지고 있다^{4,5)}.

3.1 숨겨진 단말 문제

숨겨진 단말 문제는 Zigbee 단말이 충돌여부를 확인하기 위해 CCA를 수행하지만 여러 장애요소로 인해 CCA가 역할을 제대로 하지 못했을 경우 발생하게 된다.

위 그림 2는 B가 A에게 데이터를 전송하고 있는 도중에 C가 A에게 데이터 전송을 하므로 두 개의 데이터 프레임이 충돌하는 숨겨진 단말 문제의 예를 보여주고 있다.

B가 A에게 데이터를 전송하고 있지만 C의 감지 영역 범위 밖에 B가 위치하고 있는 상태이므로 C가 A에게 데이터를 전송하기 위해 CCA를 실행하지만 B를 반영하지 못하여 CCA가 성공했다고 감지하고 데이터를 A에게 전송을 하기 시작한다. 이로 인해 B와 C가 A에게 전송되는 두 데이터 프레임은 서로 충돌이 발생하게 되지만 C는 B와 충돌이 발생되었다는 것을 인식하지 못하고 계속 데이터 프레임을 전송하게 되는 현상인 은닉 노드 문제가 발생하게 된다. 충돌을 감지 못한 B는 A가 ACK 프레임을 보내주지 않으면 전송 도중 오류가 발생하여 A가 데이터를 수신을 못했다고 인식을 하고 다시 일정시간 뒤에 데이터를 다시 보내게 된다. 이러한 현상이 반복되어 계속 충돌이 발생하게 되며 C도 같은 이유로 A에게 반복적으로 데이터를 전송하게 된다. CCA 실패하였다면 데이터를 전송을 포기하지만 ACK 프레임 전송을 받지 못하여 재전송을 하는 경우에는 횟수에 상관없이 지속적으로 재전송을 하는 Zigbee의 특성상 이 현상은 멈추지 않는다. 이로 인해 배터리의 소모가 많이 발생하게 되며 또한 네트워크의 전체적인 효율도 떨어지게 된다^{6,7)}.

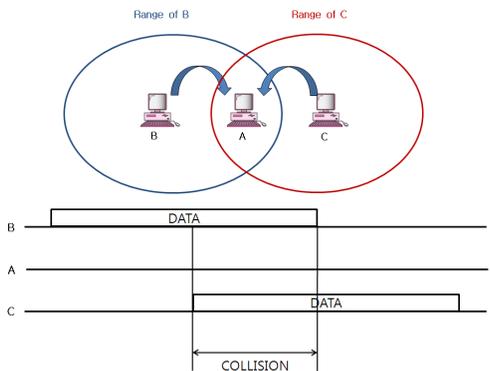


그림 2. 숨겨진 단말 문제
Fig. 2. Hidden Node Problem

3.2 전송 지연 문제

전송 지연 문제는 상위 계층과 하위 계층간의 Beacon Interval 차이로 인해 하위계층으로 데이터를 전송할 경우 지연시간이 발생하는 문제이다.

그림 3은 B가 상위 계층인 A와 하위 계층인 C에게 데이터를 전송하는 경우 상위 계층의 두 번째 Beacon의 위치에 따라 발생하는 전송 지연문제 예를 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 첫 번째 동기화가 맞추어진 이후 B가 수집한 데이터를 A와 B에게 전송하려고 한다. 상위 계층의 A는 두 번째 Beacon을 전송하는 시점인 t2에 B가 A에게 데이터를 전송할 수 있다. 하지만 하위 계층에 위치한 C에게 데이터를 전송하는 경우에는 C의 두 번째 Beacon을 전송하는 시점이 아닌 B의 두 번째 Beacon을 전송하는 시점인 t3에 데이터를 전송할 수 있게 된다. 그 이유는 하위 계층에 위치하고 있는 단말은 상위 계층의 Beacon Interval을 알고 있지만 상위 계층의 단말은 하의 계층의 Beacon Interval을 알지 못하므로 발생하는 전송지연 문제이다. 따라서 상위 계층으로 데이터가 모이는 대부분의 네트워크 구조에서 계층간의 데이터 전송시 발생하는 지연시간은 상위 계층에 위치한 단말의 Beacon Interval만큼 발생하게 되며, 상위 계층의 Beacon Interval이 크고, 하위 계층과 동기화 시점이 늦어지면 지연시간은 많이 발생하게 된다^[8].

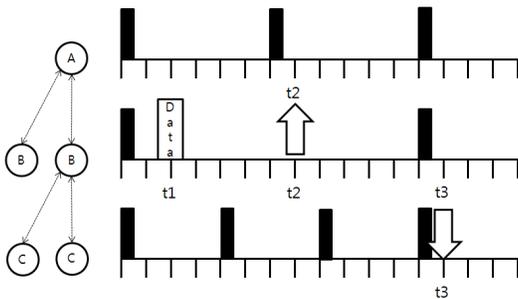


그림 3. 전송 지연 문제
Fig. 3. Transfer Delay Problem

IV. 제안하는 프레임

숨겨진 단말 문제는 송수신 단말의 상태 정보 교환이 이루어지지 않아 발생하는 문제이며, 전송 지연 문제는 하위 계층이 상위 계층의 Beacon Interval에 맞추어 통신을 하는 환경에서 발생하는 문제이다. 이런 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 그림 4와 같은 구조를 지닌 프레임을 제안한다.

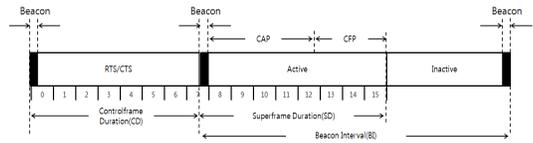


그림 4. 개선한 비콘 프레임 코디네이터
Fig. 4. Improve Beacon Frame Coordinator

제안하는 프레임의 가장 첫 부분에서는 Control Frame Duration 구간을 가지고 있으며, 이 구간에서는 CSMA/CA 방식중에서 송수신 단말간의 RTS/CTS 교환을 지원한다. RTS/CTS 교환을 할 수 있는 Control Frame Duration 구간으로 인해 감지 범위 밖에서 통신을 하는 숨겨진 단말 문제를 해결할 수 있으며, 또한 채널 경쟁을 선행적으로 반송과 감지법을 통해 실행하여 채널 부하를 줄이는 역할을 지원한다.

두 번째 부분인 Control Frame Duration 구간과 Super Frame Duration 구간사이에는 Beacon이 존재한다. 이 Beacon은 단말의 Beacon Interval을 감소시키는 역할을 지원한다. 상위 계층의 Beacon Interval이 감소하여 하위 계층에서 발생하는 전송 지연시간을 줄일 수 있다.

세 번째 부분은 기존의 프레임과 같이 Super Frame Duration 구간이 존재하지만, 기존의 프레임에 비해 Control Frame Duration 구간이 차지하는 만큼 크기가 감소하여 존재한다. Super Frame Duration 구간이 하는 역할은 기존의 프레임과 같이 채널 경쟁 역할을 하며, 선행적으로 Control Frame Duration에서 채널 경쟁을 반송과 감지법을 통해 하였으므로, 부하는 기존의 프레임보다 비슷하다고 할 수 있다. 그리고 나머지 다른 부분은 기존의 프레임과 같은 구조로 같은 크기와 같은 역할을 수행한다.

제안하는 프레임에서 Control Frame Duration과 Beacon을 추가하여 달라지는 Control Frame Duration (CD)과 Super Frame Duration(SD) 그리고 Beacon Interval(BI) 간의 관계를 계산하는 식은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 CD &= 0.5 \times sBase \text{ Super Frame Duration} \times 2^{SO} \\
 &= 0.5 \times aNum \text{ Sper Frame Duration} \times 2^{SO} \quad (3) \\
 &= 8 \times 60 \times 2^{SO} \text{ Symbol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SD &= 0.5 \times sBase \text{ Super Frame Duration} \times 2^{SO} \\
 &= 0.5 \times aNum \text{ Sper Frame Duration} \times 2^{SO} \quad (4) \\
 &= 8 \times 60 \times 2^{SO} \text{ Symbol}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 BI &= 0.75 \times sBase \text{ Super Frame Duration} \times 2^{BO} \\
 &= 0.75 \times aNum \text{ Super Frame Slot} \times aBase \\
 &\quad Slot \times aBase \text{ Slot Duration} \times 2^{BO} \quad (5) \\
 &= 12 \times 60 \times 2^{BO} \text{ Symbol}
 \end{aligned}$$

기존의 관계식과 같은 조건을 가지고 있으나 Super Frame Duration이 절반으로 줄어들고 그 구간을 Control Frame Duration이 채워지는 관계를 가지고 있다. 또한 Super Frame Duration과 Control Frame Duration 사이에 Beacon이 존재하므로 Beacon Interval이 75%로 줄어들게 된다. 또한 Active 구간의 비율인 Duty Cycle도 달라지며, 그 수치는 다음 표와 같다.

제안하는 프레임은 Control Frame Duration 구간에서 송수신 단말들이 RTS/CTS를 교환을 지원하므로 숨겨진 단말 문제를 해결할 수 있을 것이라고 예상하지만 IEEE 802.11 환경과 같은 RTS/CTS 교환 특성으로 부가적으로 다른 문제인 False Node Problem이 발생하게 되며, 이를 표현한 것이 그림 5 이다⁹⁻¹¹⁾.

각 단말마다 전송범위가 겹치는 부분이 적은 경우

표 2. Duty Cycle
Table 2. Duty Cycle

BO와 SO의 차이	Duty Cycle (%)	BO와 SO의 차이	Duty Cycle (%)
0	12.5	4	0.78
1	6.25	5	0.39
2	3.13	6	0.195
3	1.56	≥7	<0.1

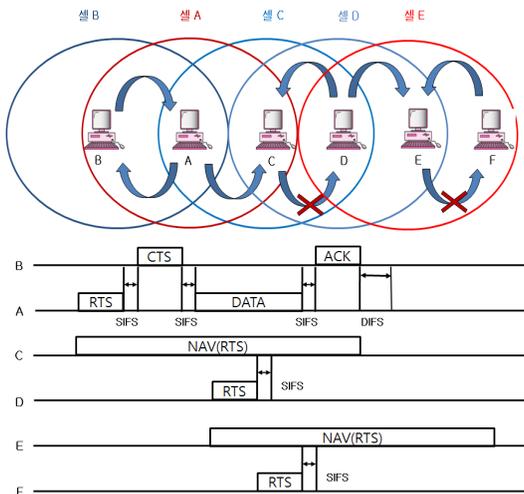


그림 5. False Node Problem
Fig. 5. False Node Problem

에 False Node Problem이 발생하게 된다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 A와 B는 서로 정상적인 통신을 할 수 있게 된다. 하지만 C는 A가 전송한 RTS로 인해 대기 상태에 들어가는 동안 다른 단말인 D가 C와 통신을 원할 경우에 발생한다. C는 대기 상태에 있기 때문에 D의 요청에 응답을 할 수 없다. 응답을 받지 못한 D는 결국 C와 통신을 할 수 없게 된다. 이 문제는 프레임 간의 충돌을 막기 위해 사용되는 제어 프레임이 전송범위에 위치한 송수신 단말에게도 영향을 미쳐 전송효율을 떨어지게 하는 문제가 False Node Problem 이다⁹⁻¹¹⁾.

이를 해결하기 위해서는 저자는 2008년도부터 “전송 효율 증대를 위한 제어프레임 디자인”등 여러 논문에서 제안했던 24비트 확장형 RTS를 본 논문에서도 똑같은 방법으로 사용을 한다. 24비트 확장형 RTS는 False Node Problem을 방지하는 효과적인 방법이라고 여러 논문을 통해 입증되었다. False Node Problem이 발생하지 않는 환경에서 기존의 RTS를 사용하는 것과 비교하여도 지연시간, 전송률과 데이터 처리율의 수치가 변하지 않으므로 False Node Problem을 방지하기 위한 목적으로 24비트 확장형 RTS를 사용을 하였다. 24비트 확장형 RTS는 다음 그림과 같은 구조를 지닌다⁹⁻¹¹⁾.

24비트 확장형 RTS의 구성을 살펴보면 Frame Control(2byte), Duration(2byte), Receiver Address (6byte), Transmitter Address(6byte), Check Channel (4byte), FCS(4byte)로 구성되어 있다. Frame Control은 프레임의 타입과 MAC 주소 해석 등이 명시되어 있으며, Duration은 단말이 채널 점유하는 시간의 주기와 자원을 사용하는 정도에 대한 정보를 명시하고 있다. Receiver Address와 Transmitter Address는 송수신 단말의 주소를 나타낸 것이며, FCS는 프레임의 중복여부를 체크하는데 사용되며 여기까지가 기존의 RTS와 같은 구조로 이루어진 부분이다. 24비트 확장형 RTS가 가지고 있는 새로운 구조는 Check Channel로서 일정한 시간에 입력되는 데이터가 없거나 계속 0으로 지속될 경우 수신단말은 백-오프 상태에서 벗어 나는 기능을 제공한다. Check Channel에서 정의된 일

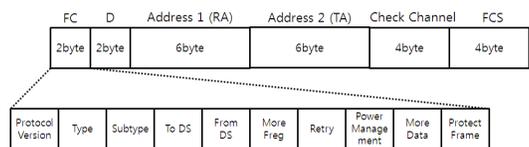


그림 6. 24비트 확장형 RTS
Fig. 6. 24bit Expansion RTS

정시간은 Duration에서 정의된 시간과 CTS 전송시간, SIFS와 DIFS를 합한 시간이다. 단말이 채널을 점유하는 시간, CTS 전송시간, SIFS, DIFS 모두 고정된 값을 가지고 있으므로 Check Point가 수행되는 시간도 일정한 시간이며, 이로 인한 오류 및 지연시간, 전송률, 데이터 처리율과 같은 수치 변화는 없다고 볼 수 있다⁹⁻¹¹⁾.

V. 시뮬레이션 환경

네트워크 시뮬레이션 툴인 OPNET 11.0을 이용하여 IEEE 802.15.4 표준에서 제시하고 있는 QoS Parameter 정보를 참고로 Zigbee 네트워크 환경을 구축하였다. 네트워크 구성은 서버 1개와 Zigbee 통신 단말 50개로 구성하였으며, 가장 하위 계층 단말에서 서버로 전송을 할 경우 5개의 상위 단말을 지나도록 경로 설정을 하였다. 모든 단말들은 Zigbee QoS Parameter 정보와 동일하게 설정을 하였으며, 기존의 프레임과 제안하는 프레임을 각각 사용하여 1시간동안 통신을 하도록 설정하였다.

제안하는 프레임이 전송 지연 문제를 해결한 정도를 보기 위해 지연시간인 Delay(sec)을 측정하였다.

표 3. 시뮬레이션 파라미터
Table 3. Simulation Parameter

Statistics	Value
Scenario Size	100m X 100m
Bandwidth	2.4GHz
Data Rate	250Kbps
Transmission Range	10 ~75m
Maximum ACK Delay	0.2 Sec
Simulation Time	60 min

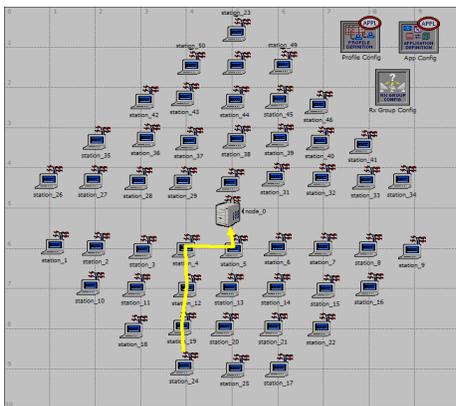


그림 7. 시뮬레이션 환경
Fig. 7. Simulation Environment

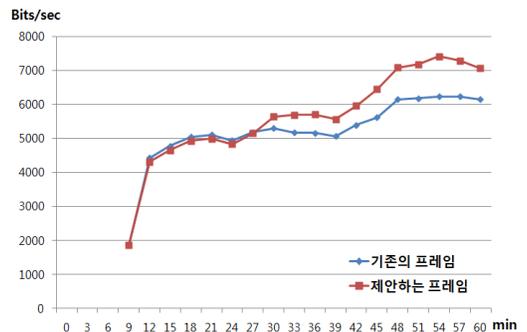
그리고 숨겨진 단말 문제를 해결하였는지 여부를 확인하기 위해 전송률인 Throughput(bits/sec)와 데이터 처리율인 Load(bits/sec)를 측정하였다. 측정된 위치는 전체 네트워크와 가장 하위 계층에 위치하는 단말에서 각각 측정을 하였다. 시뮬레이션 환경과 파라미터는 다음 표와 그림과 같다.

VI. 시뮬레이션 비교 분석

4.1 숨겨진 단말 문제

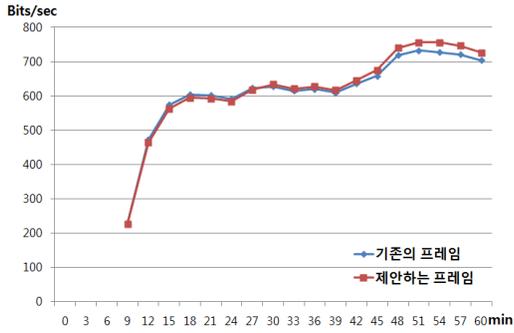
숨겨진 단말 문제가 해결이 된다면 프레임 충돌 현상이 발생하지 않아 전송률이 높게 측정된다는 이론을 바탕으로 기존의 프레임과 제안하는 프레임을 각각 사용하여 Throughput (bits/sec)를 측정하였다.

전체 네트워크의 50개 단말이 초당 전송하는 데이터의 양은 기존의 프레임을 사용하였을 경우 5,307 bits/sec의 전송률이 측정되었으며, 제안하는 프레임을 사용하였을 경우 5,732bits/sec의 전송률이 측정되었다. 제안하는 프레임을 사용하여 약 425bits/sec의 이득을 얻었으며, 전체 네트워크의 8% 성능이 개선되었다. 제안하는 프레임은 Super Frame Duration의 구간을 줄이고 남은 구간에 Control Frame Duration을 추가하는 구조를 가지고 있다. 추가한 Control Frame Duration에서는 송수신 단말이 CSMA/CA 방식에서 지원하는 RTS/CTS 프레임을 서로 전송하므로 단말의 상태 정보를 서로 공유하므로 프레임의 충돌 현상을 방지 할 수 있게 된다. 프레임 충돌 현상이 줄어들어 재전송의 빈도가 줄어들고, 전송 성공 빈도가 늘어났다는 것을 측정된 수치로 알 수 있다.



	기존의 프레임	제안하는 프레임	개선된 정도
Throughput (bits/sec) Average	5,307	5,732	425 (8%)

그림 8. 전체 네트워크의 평균 전송률 (bits/sec)
Fig. 8. Average Throughput of a Total Network (bits/sec)



	기존의 프레임	제안하는 프레임	개선된 정도
Throughput (bits/sec) Average	617	627	10 (1.6%)

그림 9. 하위 계층의 전송률 (bits/sec)
Fig. 9. Throughput of a Low Level Terminal (bits/sec)

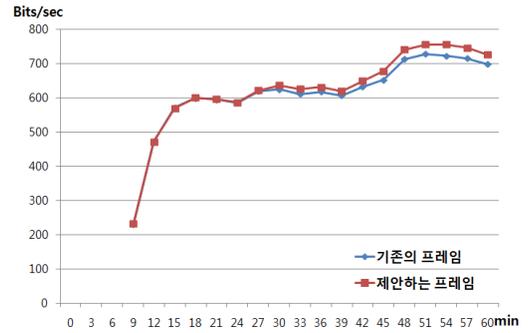
하위 계층의 단말이 초당 전송하는 데이터의 양은 기존의 프레임을 사용하였을 경우 617bits/sec로 측정되었으며, 제안하는 프레임을 사용하였을 경우 624bits/sec로 측정되었다. 제안하는 프레임을 사용하여 약 10bits/sec의 이득을 얻었으며, 단말의 성능은 약 1.6% 개선되었다. 하위 계층의 단말이 좀 더 낮은 개선 수치를 보이는 이유는 상위 계층보다 전송 빈도와 전송량이 많지 않기 때문에 전송률의 차이가 낮게 측정이 되었다.

하지만 전송률에서 측정된 수치는 재전송을 위해 발생하는 프레임, RTS와 CTS도 포함이 되어 있어 프레임 충돌 현상이 줄어들어 얻어지는 수치로 비교하기가 정확하지 않다. 그러므로 좀 더 정확하게 비교하



	기존의 프레임	제안하는 프레임	개선된 정도
Load (bits/sec) Average	5,253	5,684	431 (8.2%)

그림 10. 전체 네트워크의 평균 처리율 (bits/sec)
Fig. 10. Average Load of a Total Network (bits/sec)



	기존의 프레임	제안하는 프레임	개선된 정도
Load (bits/sec) Average	614	624	10 (1.6%)

그림 11. 하위 계층의 처리율 (bits/sec)
Fig. 11. Load of a Low Level Terminal (bits/sec)

기 위해 기존의 프레임과 제안하는 프레임을 각각 사용하여 전송 성공하여 전송 받은 데이터의 초당 처리하는 수치인 Load(bits/sec)를 측정하였다.

전체 네트워크의 50개 단말이 전송이 성공하여 받은 데이터를 초당 처리하는 양은 기존의 프레임을 사용하였을 경우 5,253bits/sec가 측정되었으며, 제안하는 프레임을 사용하였을 경우 5,684bits/sec가 측정되었다. 제안하는 프레임을 사용하여 약 431bits/sec의 이득을 보았으며 전체 네트워크에서 8.2%의 성능이 개선되었다. 제안하는 프레임을 사용하므로 1시간동안 재전송 프레임과 통신을 위한 제어프레임 등을 제외한 순수 데이터의 이득은 193Kbyte로 측정되었다. 또한 전송률과 데이터 처리율 차이를 비교해보면 기존의 프레임을 사용할 경우 54bits/sec로 측정되었으며, 제안하는 프레임을 사용할 경우 48bits/sec로 측정되었다. 제안하는 프레임을 사용하여 6bits/sec의 이득을 얻었으며, 1시간동안 재전송에 소모되는 2.7Kbyte가 절약되었다.

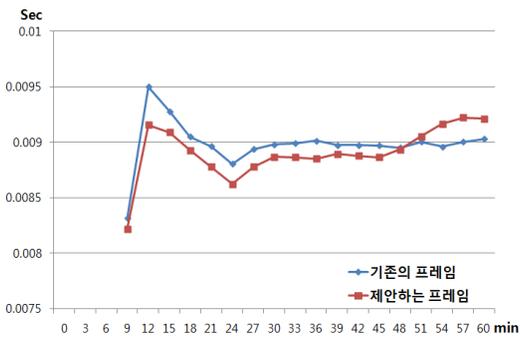
하위 계층에서 초당 처리한 데이터는 기존의 프레임을 사용하였을 경우 614bits/sec가 측정되었으며, 제안하는 프레임을 사용하였을 경우 624bits/sec가 측정되었다. 제안하는 프레임을 사용하여 10bits/sec의 이득을 보았으며 단말의 성능이 약 1.6%정도 개선되었다. 재전송 프레임과 제어프레임 등을 제외한 순수 데이터의 이득은 4.5Kbyte로 측정되었다. 처리율과의 차이를 비교해보면 기존의 프레임을 사용하였을 경우 3bits/sec로 측정되었으며, 제안하는 프레임을 사용하였을 경우도 3bits/sec로 측정되었다. 두 수치가 같은 것은 숨겨진 단말 문제로 프레임 충돌 현상이 하위 계

층에서는 발생하지 않았다는 것을 의미한다.

4.2 전송 지연 문제

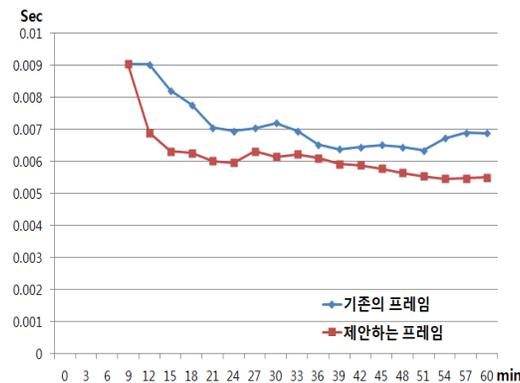
기존의 프레임과 제안하는 프레임을 각각 사용하여 측정된 Delay(sec)를 비교해보면 다음 그림과 같다.

위의 그림을 보면 제안하는 프레임을 사용하므로 하위 계층 단말의 성능이 개선되었다는 것을 볼 수 있다. 전체 네트워크의 50개 단말에 발생하는 평균 지연 시간은 기존의 프레임을 사용하였을 경우 8.99ms이 측정되었으며, 제안하는 프레임을 사용하였을 경우 8.91ms의 지연시간을 측정되었다. 제안하는 프레임을 사용하여 약 0.08ms의 이득을 보았으며 전체 네트워크



	기존의 프레임	제안하는 프레임	개선된 정도
Delay (ms) Average	8.99	8.91	0.08 (0.9%)

그림 12. 전체 네트워크의 평균 지연시간 (sec)
Fig. 12. Average Delay of a Total Network (sec)



	기존의 프레임	제안하는 프레임	개선된 정도
Delay (ms) Average	7.11	6.11	1 (14%)

그림 13. 하위 계층의 지연시간 (sec)
Fig. 13. Delay of a Low Level Terminal (sec)

크에서는 0.9%의 성능이 개선되었다. 개선정도는 매우 미미한 정도 측정되었다. Control Frame Duration을 추가하므로 인해 발생하는 추가 지연시간은 없었으며, 또한 Control Frame Duration과 Super Frame Duration 사이 Beacon을 추가하여 Beacon Interval을 줄여서 발생하는 추가 지연시간도 없었다. 하지만 전체 네트워크에서 기존의 프레임과 비교하였을 경우에는 개선되는 정도는 매우 미미하며, 비슷하다고 판단할 수 있다.

하지만 하위 계층의 단말에서 발생하는 지연시간은 기존의 프레임을 사용하였을 경우 7.11ms가 측정되었으며, 제안하는 프레임을 사용하였을 경우 6.11ms의 지연시간이 측정되었다. 제안하는 프레임을 사용하여 약 1ms의 이득을 보았으며 단말의 성능이 14% 개선되었다. 제안하는 프레임은 Control Frame Duration과 Super Frame Duration 사이에 Beacon을 추가한 구조로서 첫 동기화에 사용되는 Beacon과 두 번째 Beacon간의 간격을 줄여 Beacon Interval을 줄이는 효과가 발생하게 된다. 이러한 효과로 인해 하위 계층에게 전송하는데 발생하는 지연시간이 단축되었다는 것을 측정된 수치로 알 수 있다.

전송 지연 문제에서 설명한 것과 같이 상위 계층으로 모이는 네트워크 환경에서 하위 계층에서 발생하는 지연시간은 상위 계층의 Beacon Interval 영향에 의해 크게 변하게 된다. 이러한 환경에서 제안하는 프레임은 상위 계층의 Beacon Interval을 줄임으로 상위 계층보다는 하위 계층의 지연시간을 개선시킬 수 있어 하위 계층에서 측정된 값이 좀 더 많은 개선을 보

표 4. 시뮬레이션 수치 비교
Table 4. Comparison Numerical Simulation

		기존의 프레임	제안하는 프레임	개선된 정도
Delay (ms)	전체 네트워크	8.99	8.91	0.08 (0.9%)
	하위 계층	7.11	6.11	1 (14%)
Throughput (bits/sec)	전체 네트워크	5,307	5,732	425 (8%)
	하위 계층	617	627	10 (1.6%)
Load (bits/sec)	전체 네트워크	5,253	5,684	431 (8.2%)
	하위 계층	614	624	10 (1.6%)
Throughput - Load (bits/sec)	전체 네트워크	54	48	6 (11%)
	하위 계층	3	3	0 (0%)

인다는 것을 확인 할 수 있다.

지금까지 시뮬레이션을 하여 측정된 수치를 비교해 보면 표 4와 같다. 표 4에서 볼 수 있듯이 모든 측정된 수치를 비교해 보면 제안하는 프레임은 사용하여 지연시간, 전송률, 데이터 처리율 측면에서 좀 더 효율적인 통신이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 제안하는 프레임은 사용하여 전송 지연 문제가 해결되었다는 것을 하위 계층의 지연시간인 Delay (sec)를 통해 확인할 수 있었다. 그리고 숨겨진 단말 문제가 해결되었다는 것을 전체 네트워크의 전송률과 데이터 처리율인 Throughput(bits/sec)와 Load (bits/sec)를 통해 확인할 수 있었으며, 재전송 빈도가 줄어들어 얻은 이익도 Throughput - Load(bits/sec)도 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

Zigbee를 이용하여 홈 네트워크를 구성할 경우에는 네트워크의 확장성을 고려하여 설계를 하여야 한다. 그리고 전송 도중 발생하는 통신 장애 요소에 대한 손실도 최소화하여 설계해야 한다.

따라서 본 논문에서는 Zigbee 통신 환경의 문제점인 숨겨진 단말 문제와 전송 지연 문제를 해결하기 위해 Super Frame Duration을 줄이고 생겨난 공간에 Control Frame Duration 구간과 Beacon을 넣은 구조를 가진 Beacon Frame을 제안하였다. 그리고 RTS를 사용하므로 발생할 수 있는 False Node Problem을 방지하기 위해 24비트로 확장된 RTS를 제안하였다. 제안하는 방식을 Zigbee QoS Parameter 환경에서 시뮬레이션을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Control Frame Duration 구간을 설정하여 송수신 단말간의 RTS/CTS 교환을 통해 숨겨진 단말 문제를 해결할 수 있었다.
- 2) Super Frame Duration이 줄어들었지만 Control Frame Duration 구간에서도 채널 경쟁이 가능하여 추가적인 지연시간이 발생하지 않았다.
- 3) Control Frame Duration과 Super Frame Duration 사이의 Beacon을 추가하여 하위 계층의 지연시간을 줄임으로 전송 지연 문제를 해결할 수 있었다.

Zigbee는 넓은 확장성을 지닌 무선 네트워크 기술이지만 전송 지연 문제와 숨겨진 단말 문제로 인해 네트워크 구성시 제약을 받아 현재까지 많은 발전을 하지 못하고 있는 통신 기술이다. 하지만 제안하는 방식

을 통해 Zigbee가 가지고 있는 문제점을 해결할 수 있었으며, 이를 통해 전체 네트워크의 성능과 단말 성능이 향상이 되었다는 것을 확인 할 수 있었다. 제안하는 프레임은 완전한 방식이 아니다. 많은 제약 부분을 고려하지 않는 상태에서 설계를 하였으며, 좀 더 보완할 부분이 남아있다. 또한 향후 Zigbee 프레임의 연구가 계속 진행되어 더 좋은 성능을 지원한다고 하여 연구가 여기서 멈추어져서는 안된다. 향후 Zigbee의 저속 능력을 보완할 수 있는 부분과 IEEE 802.11과 채널간섭 문제를 해결할 수 있는 방안 등이 연구되어야 하며, 또한 Zigbee의 응용분야에 대한 연구와 다른 통신간의 융합 방안에 대한 연구도 이루어져야 할 것이라고 본다.

참 고 문 헌

- [1] "IEEE Standard 802.15.4 Technical Report," 2003
- [2] Diba Mirza, Maryam Owrang and Curt Schurgers, "Energy-efficient wakeup scheduling for maximizing lifetime of IEEE 802.15.4 networks," International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing(WICOM 2005), pp. 130-137, 2005
- [3] 임정섭, "LR-WPAN에서 충돌회피를 위한 동적 채널할당 알고리즘에 대한 연구", 인하대학교 전자공학과, pp.5-10
- [4] Sofie Pollin, Mustafa Ergen, Sinem Coleri Ergen, Bruno Bougard, Lisebet Van Der Perre, Francky Catthoor, Ingrid Moerman, Ahmad Bahai and Pravin Varaiya, "Performance Analysis of Slotted Carrier Sense IEEE 802.15.4 Medium Access Layer," IEEE Transactions on Wireless Communication, Vol.7, Issue.9, pp.3359-3371, 2008
- [5] 김영배, "타원곡선 암호 알고리즘을 적용한 U-SIM 기반 홈 네트워크 Zigbee 통신에 관한 연구," 조선대학교 정보통신공학과, pp.11-16, 2011
- [6] 유도경, "CSMA/CA 환경에서 응답시간 단축을 위한 제어프레임 디자인 설계", 조선대학교 산업대학원, pp17-18, 2010
- [7] 윤풍식, 한경현, 한승조, "전송 효율 증대를 위한 제어프레임 디자인", 2009 한국통신학회 추계학

- 술대회, pp.201-205, 2009
- [8] 강재은, 박학래, 이정규, “클러스터-트리 기반 LR-WPAN에서 End-to-End 지연시간을 줄이기 위한 적응적 Beacon 스케줄링 알고리즘,” 한국통신학회논문지, Vol.34-03, pp. 225-263, 2009
 - [9] 윤풍식, “무선 애드혹 망에서 전송효율증대를 위한 제어프레임 설계,” 조선대학교 정보통신공학과, pp.18-19, 2010
 - [10] 한경현, 이상덕, 최동유, 한승조, “기존의 RTS/CTS와 개선된 RTS/CTS의 데이터 전송효율성 비교,” 한국통신학회 추계종합학술발표대회 논문집, pp.181-185, 2008
 - [11] 한경현, 이상덕, 김철원, 한승조, “Delay 감소를 위한 제어프레임 디자인,” 한국정보처리학회 추계학술발표대회 논문집, 제16권 2호, pp.120-121, 2009

한 경 현 (Kyoung-heon Han)

정회원



2008년 조선대학교 정보통신공학과 학사
 2010년 조선대학교 정보통신공학과 공학석사
 2010년 9월~현재 조선대학교 정보통신공학과 박사과정
 2010년 12월~현재 전자부품연

구원 IT-융합기술 지원센터 연구원
 <관심분야> 이동통신, 통신보안시스템설계, 센서 네트워크

한 승 조 (Seung-jo Han)

종신회원



1980년 조선대학교 전자공학과 학사
 1982년 조선대학교 전자공학과 공학석사
 1994년 충북대학교 전자계산학과 공학박사
 1995년 2월~1996년 1월 텍사스대학 객원교수

2000년 12월~2002년 3월 버클리대학 객원교수
 1998년 3월~현재 조선대학교 정보통신공학과 교수
 <관심분야> 통신보안시스템설계, 불법복제방지시스템, ASIC 설계

최 현 용 (Hyun-yong Choi)

정회원



1997년 호남대학교 전자공학과 학사
 1999년 조선대학교 전자공학과 공학석사
 2004년 조선대학교 전자공학과 공학박사
 2001년 8월~2006년 4월 신한포토닉스(주) 연구소장

2006년 4월~2006년 11월 (주)FNN 연구소장
 2007년 1월~현재 전자부품연구원 IT융합기술지원센터 센터장
 <관심분야> 광센서 네트워크, 광무선 융합 통신, 고속 적외선 통신, 근거리 무선 통신