IEEE 802.15.3 MAC Layer에서의 Delayed Negative Acknowledge를 이용한 QoS

홍 진 우, 성 현 아, 배 대 규
삼 성 전 자
전화 : 031-200-3749 / 핸드폰 : 017-859-4321

QoS with Delayed Negative Acknowledge in MAC Layer of IEEE 802.15.3

Jinwoo Hong, Hyun-Ah Sung, Dae-kyu Bae
Digital Media R&D Center, Samsung Electronics Co. Ltd.
E-mail : jinoo2k@samsung.com

Abstract

IEEE 802.15.3 is wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification for high rate WPAN (Wireless Personal Area Network). IEEE 802.15.3 MAC Layer provides Qos with three kinds of acknowledgements; No acknowledgement, Immediate acknowledgement, and Delayed acknowledgement. This paper presents how to improve QoS with new acknowledgement method called Delayed Negative acknowledgement.

This paper describes the method of using Delayed Negative acknowledgement and presents the calculation of QoS improvement by using Delayed Negative acknowledgement.

I. 서 론

무선 디지털 펄스라고도 알려져 있는 UWB (Ultra Wideband)는 단거리 구간에서 저전력으로 넓은 스펙트럼 주파수를 통해 많은 양의 디지털 데이터를 전송하기 위한 무선기술이다. 이 기술은 무선 데이터 전송을 위해 수 GHz대의 Ultra Wideband를 사용하고 수 Gbps의 초고속 전송 속도를 낸다. 또한 빠른 전송속도에도 불구하고 전력소모량은 아주 적다. IEEE 802.15.3은 UWB를 이용한 Wireless Personal Area Network (WPAN)을 위한 Physical Layer와 Medium Access Control Layer의 표준이다. 현재 IEEE 802.15.3 MAC Layer의 문제점 보완과 성능 향상을 위해 IEEE 802.15.3b라는 표준을 Working Group에서 논의 중에 있다.

본 논문은 IEEE 802.15.3 MAC Layer의 성능 향상을 위한 방안 중의 하나로써, 기존에 IEEE 802.15.3 MAC Layer에서 사용되는 Acknowledgement의 방법 중 Acknowledgement의 Overhead를 줄이고 효과적인 Bandwidth의 활용을 위해 사용되고 있는 Delayed Acknowledgement 방법을 분석하여 Delayed Negative Acknowledgement와 함께 사용함으로써 기존의 Delayed Acknowledgement만의 사용보다 더욱 효과적으로 Overhead를 줄이고 보다 나은 Bandwidth를 활용할 수 있는 QoS를 위한 방법의 절차를 제시하고자 한다.

II. IEEE 802.15.3의 Acknowledge

IEEE 802.15.3에서는 Layer 2인 MAC Layer에서의 Acknowledgement 방식을 채택함으로써 유선 네트워크에 비해 상대적으로 무선 네트워크에서 생기기 쉬운 패킷 손실에 대한 QoS를 보장해 주고 있다. IEEE 802.15.3에서 사용되는 Acknowledgement의 방식은 세 가지가 있는데 그 종류는 다음과 같다. Acknowledge를 하지 않는 No Acknowledgement (No-ACK) 방식, 하나의 MAC 프레임마다 즉시 Acknowledge를 하는 Immediate Acknowledgement (Imm-ACK) 방식, 그리고 마지막으로 여러 개의 MAC 프레임에 대하여 한번에 Acknowledge를 보내는 Delayed Acknowledgement (Dly-ACK) 방식이 있다. 각각의 동작 방식은 다음과 같다.

2.1 No Acknowledgement (No-ACK) 방식

No-ACK은 MAC 프레임에 대해 Acknowledge를 하지 않는 방식으로 IP 네트워크에서의 UDP와 비슷한 성격을 가진다. MAC 프레임이 목적지에 잘 도착했는지 여부에 상관없이 데이터를 전송하는 방식이다. No-ACK 방식은 MAC 프레임에 대한 QoS를 지원하지 않는다. Broadcast와 Multicast 되는 프레임에는 No-ACK이 사용된다. No-ACK일때 데이터가 전송되는 동작은 그림 1과 같다.

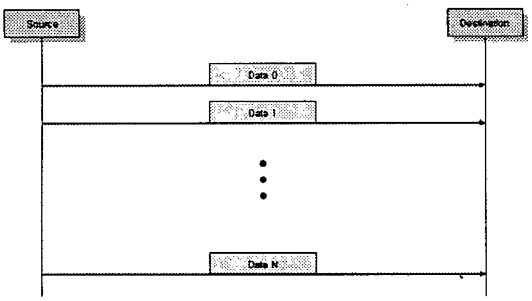

그림 1 No-ACK 방식의 데이터 전송

2.2 Immediate Acknowledgement (Imm-ACK) 방식

Imm-ACK 방식은 하나하나의 MAC 프레임에 대해 Acknowledgement를 보냄으로써 QoS를 지원하는 방식이다. IP 네트워크에서 TCP의 QoS와 비슷하다. 각각의 MAC 프레임에 대해 Acknowledgement를 보내기 때문에 송신측은 보낸 데이터가 잘 도착했는지의 여부를 알 수 있다. 수신측으로부터 Acknowledgement를 받으면 송신측은 다음 데이터를 보낸다. Imm-ACK을 방식의 데이터 전송은 그림 2와 같다.

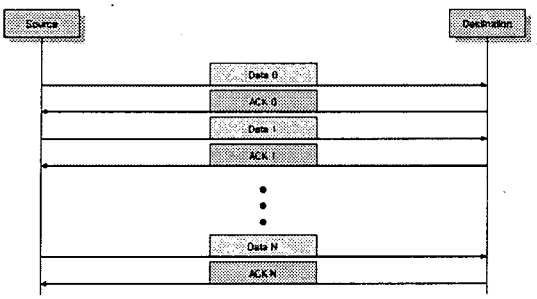

그림 2 Imm-ACK 방식의 데이터 전송

만약 일정시간(RIFS: Retransmission Interframe Space)이 경과한 뒤에도 Acknowledgement를 받지 못하면 MAC 프레임을 재전송한다. 그림 3은 재전송이 일어나는 경우의 동작방식으로 Acknowledgement가 전송되는 도중 손실이 되었을 경우이다.

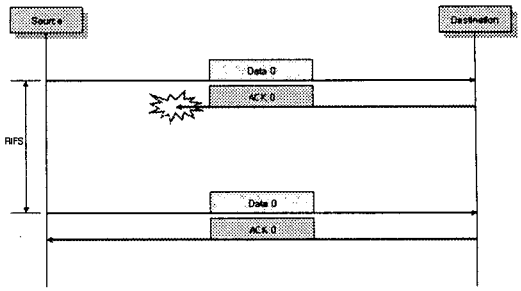

그림 3 Imm-ACK 방식의 재전송

2.2 Delayed Acknowledgement (Dly-ACK) 방식

Dly-ACK 방식은 여러 개의 MAC 프레임에 대해 한번에 Acknowledgement를 보냄으로써 Imm-ACK 방식에서 많이 소요되는 IFS(Interframe Space)를 줄여서 Throughput을 높일 수 있다. 그리고 한 번에 여러 개의 Acknowledgement를 보냄으로써 Imm-ACK에서의 Acknowledgement의 총 길이의 합도 줄이는 효과가 있다. Dly-ACK을 쓰기 위해서는 송신측에서 먼저 데이터 프레임에 ACK Policy를 Dly-ACK으로 하고 Dly-ACK Request Bit을 1로 지정을 해서 보낸다. Dly-ACK Request Bit이 1인 경우 수신측에서는 반드시 Acknowledge를 해야 한다. 이때 수신측이 Dly-ACK으로 버퍼의 크기를 고려하여 Max Frames, Max Burst등의 필드를 채우고 MSDUs ACKed는 1로 지정하여 Dly-ACK 프레임을 보낸다. 만약 수신측이 Dly-ACK을 지원하지 않거나 사용하지 않을 경우에는 그냥 Imm-ACK을 보내면 된다. Dly-ACK을 사용하기 위한 협상과정은 그림 4와에 나타나 있고 Dly-ACK의 프레임 포맷은 그림 5와 같다.

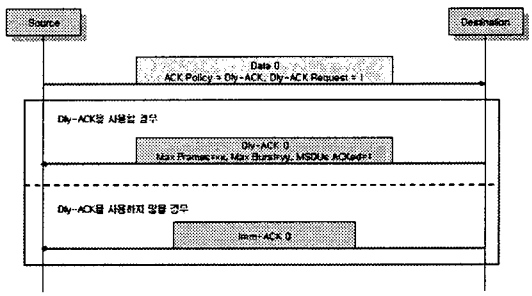

그림 4 Dly-ACK을 위한 협상 과정

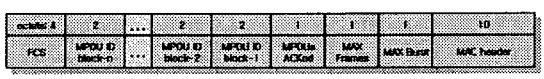

그림 5 Dly-ACK 프레임 포맷

MPDU ID Block은 그림 6과 같이 MSDU 번호와

Fragment 번호로 구성된다.

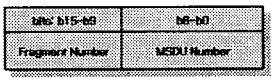

그림 6 MPDU ID Block

Dly-ACK 협상과정에서 Dly-ACK을 사용하게 되면 송신측은 데이터 프레임을 보내기 시작한다. 수신측에서 보내온 Dly-ACK의 필드들을 고려하여 송신측은 Acknowledgement가 필요할 때 Dly-ACK Request Bit을 1로 하여 보낸다. 수신측은 Dly-ACK Request Bit이 1일 경우에 Dly-ACK 프레임을 버퍼를 고려하여 해당 필드들을 다시 계산하여 보낸다. 이 동작들이 반복되면서 데이터 프레임이 전송된다. Dly-ACK 협상과정 후 데이터 프레임 전송 동작 방식은 그림 7과 같이 도식화 된다.

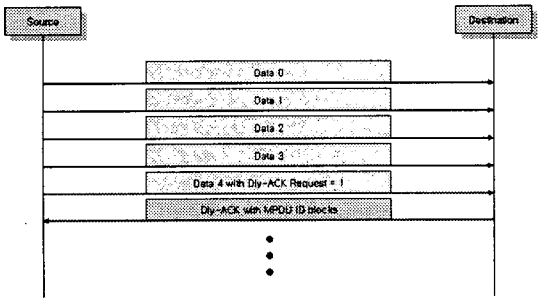

그림 7 Dly-ACK 방식의 데이터 전송

수신측은 Dly-ACK Request Bit이 1일 경우 받은 프레임의 MPDU ID의 Block을 열거하여 Dly-ACK 프레임을 만들어서 송신측으로 보낸다. 송신측은 Dly-ACK 프레임의 MPDU ID Block들을 조사하여 빠진 MPDU ID의 프레임을 재전송한다.

III. Delayed Negative Acknowledgement 방식의 설계와 동작

3.1 Delayed Negative Acknowledgement (Dly-NACK) 프레임 포맷

Dly-NACK을 사용하기 위해서는 Dly-NACK 프레임 포맷이 정의 되어야 한다. Dly-NACK 프레임 포맷과 형식은 MPDUs ACKed 대신에 MPDUs NACKed 필드가 사용되고 나머지는 Dly-ACK 프레임과 같다. 그리고, MAC 헤더의 프레임 Type을 Dly-NACK으로 표시를 하면 된다. IEEE 802.15.3 MAC 헤더의 포맷은 그림 8과 같고 Dly-NACK의 프레임 포맷은 그림 9와 같다.

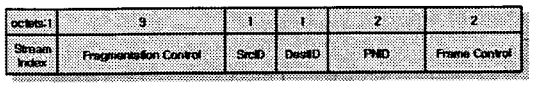

그림 8 IEEE 802.15.3 MAC 헤더 포맷

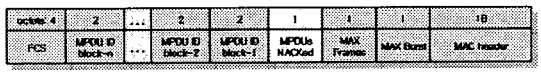

그림 9 Dly-NACK 프레임 포맷

프레임 Type은 Frame Control 필드 내에 정의를 하는데 Frame Control 필드는 그림 10과 같고 본 논문의 Dly-NACK이 포함된 프레임 Type의 값은 표 1과 같다.

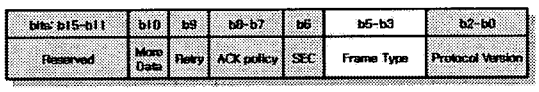

그림 10 IEEE 802.15.3 Frame Control 포맷

표 1 Frame Type 값

Type value b5 b4 b3	Frame Type Description
000	Beacon Frame
001	Immediate ACK (Imm-ACK) Frame
010	Delayed ACK (Dly-ACK) Frame
011	Command Frame
100	Data Frame
101	Delayed NACK (Dly-NACK) Frame[1)]
110-111	Reserved

Dly-NACK은 Dly-ACK과 프레임 Type과 MPDU ID를 열거하는 방식에서 차이가 난다. Dly-ACK이 수신측에서 받은 프레임의 MPDU ID를 열거하는 반면에 Dly-NACK은 수신 받지 못한 MPDU ID를 열거하게 된다. MSDU 번호는 512-modulo 카운터이고 Fragment 번호 또한 1씩 증가하는 숫자이고 MAC 헤더의 Fragmentation Control 필드의 Last Fragment Number로 Fragment여부를 알 수 있으므로 수신측에서는 받지 못하고 유실된 프레임의 MPDU ID를 알 수 있다.

3.2 Dly-NACK 동작 방식

Dly-NACK의 동작 방식은 Dly-ACK과 비슷하다. 처음에 송신측과 수신측은 협상과정을 거치게 된다. Dly-ACK과 같이 송신측에서 데이터 프레임에 ACK Policy를 Dly-ACK으로 하고 Dly-ACK Request Bit을 1로 하여 요청을 한다. 수신측은 Dly-ACK의 경우와

1) 본 논문에서 임의로 지정한 값으로 일관성을 위해 재정의 될 수 있다.

마찬가지로 Dly-NACK의 필드들을 계산하여 채운다. Dly-ACK 프레임을 보내는 대신에 Dly-NACK 프레임을 보낸다. 이때 MAC 프레임 헤더내의 Frame Control의 프레임 Type 필드는 표 1에서 정의된 바와 같이 Dly-NACK을 표시하고 MPDUs NACKed는 0으로 한다. Dly-NACK의 데이터 전송 방식은 그림 6에서처럼 Dly-ACK과 같은 동작을 한다. 만약 전체 MSDU가 유실되었을 경우에는 MPDU Block에 해당 MSDU 번호를 쓰고 Fragment 번호에는 모두 1로 채워 보낸다. 모두 1로 채우는 것은 해당 MSDU의 모든 프레임을 받지 못했다는 의미이다.

Dly-NACK만을 쓰면 Dly-ACK하고의 차이점이 없다. 그래서 Dly-ACK과 Dly-NACK은 항상 같이 쓰여야 하는데 수신한 프레임의 수와 유실된 프레임의 수를 비교하여 Dly-ACK과 Dly-NACK을 쓸 것인지를 선택해야한다. 수신한 프레임의 수가 많을 경우에는 Dly-NACK을 쓰고 유실된 프레임의 수가 많을 경우에는 Dly-ACK을 쓴다.

Ⅳ. Dly-NACK의 QoS 향상

본장에서는 앞서 설명된 Dly-NACK이 기존의 Dly-ACK 방식보다의 향상을 수치적으로 계산해 본다. Dly-ACK과 Dly-NACK의 프레임 크기를 계산하면 다음과 같다.

Dly-ACK이나 Dly-NACK에 공통으로 있는 부분은 MAC 헤더 10바이트, Max Burst 필드 1바이트, Max Frames 1바이트, MPDUs ACKed 1바이트, FCS 4바이트로 총 17바이트이다. 프레임 크기의 차이는 한 Block의 크기가 2 바이트인 MPDUs ID Block의 개수에 의한 차이이다.

먼저 총 전송되는 프레임 수를 N_{total}이라고 하고 수신측에서 수신한 프레임 수를 N_{recv}라고 하면 수신하지 못한 프레임 수는 (N_{total} - N_{recv})이다. 수신한 프레임이 유실된 프레임보다 적을 경우에는 Dly-ACK을 쓴다. 이때 프레임의 길이는 수식 1과 같고 단위는 바이트이다.

$$L_{ACK} = 17 + 2N_{recv} \quad \text{수식 1}$$

반대로 수신한 프레임이 유실된 프레임보다 많을 경우에는 Dly-NACK을 쓰는데, 프레임의 길이는 수식 2와 같고 단위는 바이트이다.

$$L_{NACK} = 17 + 2(N_{total} - N_{recv}) \quad \text{수식 2}$$

Dly-NACK이 쓰일 경우는 수신한 프레임이 많은 경우 즉 채널상황이 그렇게 나쁘지 않을 경우에 사용되면 좋은데 Dly-NACK이 사용될 경우 Dly-ACK 대비 줄어드는 프레임의 길이는 수식 3과 같고 단위는 바이트이다.

$$L_{save} = 2 \times |N_{recv} - (N_{total} - N_{recv})| = 2 \times |2N_{recv} - N_{total}| \quad \text{수식 3}$$

Dly-ACK이 사용되는 경우는 채널 상황이 좋지 않을 경우인데 이때는 Dly-NACK을 사용하지 않고 Dly-ACK을 그냥 사용한다. 프레임의 길이가 길면 긴 만큼 BER(Bit Error Rate)이 적용되므로 그만큼 프레임이 유실되거나 오류가 생길 확률이 높아진다. Dly-NACK을 사용하면 Dly-ACK만을 사용할 때 보다 항상 Acknowledgement 프레임의 길이가 항상 작거나 같기 때문에 Dly-NACK을 사용하면 Dly-ACK만을 사용할 때 보다 항상 더 나은 QoS를 보장한다.

Ⅴ. 결 론

WPAN 환경에서의 데이터 전송 특히 HD 방송 스트림과 같은 고용량 멀티미디어 데이터에 있어서 QoS의 보장은 무선 네트워크 환경에 있어서 매우 중요한 과제이다.

본 논문은 UWB를 이용한 무선 네트워크 환경에서 IEEE 802.15.3 MAC에서 표준으로 제시하는 MAC Layer의 QoS 방식인 Dly-ACK을 개선하는 방안으로 Dly-NACK을 설계하여 기존의 Dly-ACK과 같이 사용함으로서 향상되는 정도를 수치적으로 도출함으로써 항상 더 나은 QoS를 보장함을 확인하였다.

본 논문은 차세대 초고속 무선 통신망에서의 QoS를 위한 자료뿐만 아니라 IEEE 802.15.3b의 표준화 제정의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] IEEE, "IEEE Standard for Information technology -- Part15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN)", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., September 2003

[2] 김인환, 최문영, "UWB(Ultra Wide-band) 표준 및 응용 모델", TTA 저널 88호, 2003년 8월