WiMedia D-MAC 기반 Wireless USB 시스템을 위한 SoQ-based 릴레이 통신 프로토콜

허 경*

SoQ-based Relay Transmission Protocol for Wireless USB over WiMedia D-MAC

Kyeong Hur*

이 논문은 2012년도 경인교육대학교 교내학술연구비 지원을 받아 작성된 것임.

요 약

본 논문에서는 WiMedia D-MAC 기술 기반 Wireless USB 프로토콜에서 분산적인 SoQ 기반 Wireless USB Channel 자원 할당 방법의 성능을 분석하고, QoS 성능 향상을 위해 릴레이 통신 기술을 적용한 SoQ 릴레이 전송 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 SoQ 릴레이 전송 프로토콜은 Satisfaction of QoS (SoQ) 알고리즘을 각 단말 디바이스 내 WiMedia D-MAC 계층에서 분산적으로 실행하고, 충돌대상 디바이스에게 예약된 QoS 자원을 유지할 수 있도록 Direct Link 뿐만 아니라 릴레이 노드를 경유하여 또 다른 Indirect Link 링크를 예약할 수 있는 자원 예약 프로토콜을 제안한다.

ABSTRACT

The WiMedia Alliance has specified a Distributed Medium Access Control (D-MAC) protocol based on UWB for high speed wireless home networks and WPANs. In this paper, firstly, the fair SoQ-based Distributed Reservation Protocol (DRP) for D-MAC is analyzed. And a novel SoQ-based relay transmission protocol is proposed to overcome DRP conflicts fast. In the proposed protocol, each device executes the Satisfaction of QoS (SoQ) time slot allocation algorithm independently. And, in order to give the loser device due to DRP conflicts another chance to maintain QoS resources, the proposed relay transmission protocol helps the device reserve another indirect link maintaining the required QoS resources via a relay node.

키워드

무선 홈네트워크, 고속 WPAN, UWB, QoS, 분산방식 MAC, 릴레이 통신

Key word

Wireless Home Networks, High Rate WPAN, UWB, QoS, Wireless USB, Relay Transmission

* 종신회원 : 경인교육대학교 컴퓨터교육과 부교수
(교신저자, Khur@ginue.ac.kr)

접수일자 : 2013. 04. 04
심사완료일자 : 2013. 05. 06

I. 서 론

최근 몇 년간, 무선 홈네트워크 환경에서의 고품질 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 점차 증대되고 있다. 와이미디어 연합은 170개 이상의 회사들이 모여 UWB 기반의 물리 계층과 MAC계층에 대한 표준을 발표하였다. 최근에, WiMedia 연합은 무선 USB, 무선 1394, 무선 IP, 블루투스 및 같은 다양한 어플리케이션의 적용을 가능하게 하는 와이미디어 D-MAC(Distributed-MAC)의 표준을 발표하였다. 와이미디어 D-MAC은 분산적 매체 접근 방식을 지원한다 [1-3].

무선 USB는 유선 USB의 성공을 기반으로 하여 UWB 기술을 USB 기술과 결합시켜서, 유선 USB와 같은 PAN 뿐만 아니라, WPAN 어플리케이션에도 적용이 가능하도록 하였다. 무선 USB 프로토콜은 기존의 USB 2.0과의 호환을 위해 호스트와 디바이스들 사이의 고속의 통신 링크를 정의하였기 때문에, 유선 USB 어플리케이션에도 쉽게 적용할 수 있다 [4-5].

무선 USB는 ‘hub and spoke’ 모델을 이용하여 무선 USB 호스트와 디바이스들을 연결한다. 무선 USB 호스트는 중앙에서 ‘hub’의 역할을 하며, 각각의 무선 USB 디바이스는 ‘spoke’의 종단에 위치한다. 각각의 spoke는 호스트와 디바이스사이의 점대점 연결을 의미한다. 이와 같이, 하나의 호스트와 여러 개의 디바이스에 의해 형성된 네트워크를 무선 USB 클러스터라고 부른다 [4].

본 논문에서는 WUSB(Wireless USB) 프로토콜의 공평하고 분산적인 SoQ 기반 자원 할당 방법의 성능을 분석하고, QoS 성능 향상을 위해 릴레이 통신 기술을 적용한 SoQ 릴레이 전송 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 SoQ 릴레이 전송 프로토콜은 Satisfaction of QoS (SoQ) 알고리즘을 호스트에서 실행하여 WUSB 클러스터내 모든 디바이스에게 자원을 할당하고, 지정된 QoS 자원을 유지할 수 있도록 Direct Link 뿐만 아니라 릴레이 노드를 경유하여 또 다른 Indirect Link 링크를 예약할 수 있는 자원 예약 프로토콜을 제안한다.

II. Wirelessn USB의 타임 슬롯 예약 방법

WUSB 채널은 일련의 MMC 프레임의 전송들로 이루어지며, 연결된 MMC 프레임들은 WUSB 호스트와 WUSB 디바이스들의 엔드포인트와의 통신을 위한 타임 슬롯을 스케줄링하기 위해 사용된다. MMC 프레임은 WUSB 트랜잭션내에서의 채널 사용에 대한 정보를 담은 WCTA(wireless USB channel time allocation) IE를 포함한다 [4].

그림 1은 WCTA IE의 구조를 보여주고 있다. bLength 필드는 the WCTA IE의 총 길이를 나타낸다. A WCTA IE는 한 개 이상의 WXCTA 블록들로 구성되어 있으며, WXCTA 블록은 MMC 프레임과 연관된 타임 슬롯 할당에 대한 정보를 포함한다. WXCTA 블록의 종류는 다음과 같다: WDRCTA (Device Receive), WDTCTA (Device Transmit), WDNTSCTA (Device Notification Time Slot).

그림 1. WCTA IE의 구조
Fig. 1 Structure of WCTA IE

WiMedia 표준에서는 무선 네트워크에서 유선 네트워크의 파라미터화된 QoS를 제공하기 위해, 유선 네트워크에서 트래픽 소스의 특성을 규정한 Token Bucket TSPEC을 포함하며 트래픽 소스의 특성을 Fluid Twin Token Bucket이라는 모델을 이용하여 표현한다 [6]. 이 모델은 트래픽 스트림을 Mean Rate r , Peak Rate p , Maximum Burst Size b 의 세가지 파라미터 $\{r, b, p\}$ 를 사용하여 특성화한다.

표 1에서 설명된 SoQ 알고리즘을 설명하기 전에 본 논문에서 정의된 용어들을 표 2에서 설명한다. WUSB 클러스터는 각 WUSB 호스트 주변에서 형성되며, WUSB 호스트와 1-홉 이웃 WUSB 디바이스들로 구성된다. 표 2에서 $SoQ_{j,n}$ 은 n 번째 슈퍼프레임에서 트래픽 스트림 j 의 QoS의 만족도를 의미하며, 식 (1)을 통해

표 1. 새로운 트래픽 스트림 G의 QoS 요청이 수용된 후 7개 전체 트래픽 스트림의 SoQ_F 상태의 변화
Table. 1 Variations of SoQ state after association of new stream G.

TS (Traffic Stream)	RR_j	DR_j	$SR_{j,n+1}$	$SoQ_{F,n+1}$	RE_j for G
A(H→D1)	30Mbps	50Mbps	42.592Mbps	0.629	7.408Mbps
B(D1→H)	50Mbps	70Mbps	62.592Mbps	0.629	7.408Mbps
C(H→D2)	60Mbps	70Mbps	66.296Mbps	0.629	3.704Mbps
D(D2→H)	20Mbps	50Mbps	38.888Mbps	0.629	11.112Mbps
E(H→D3)	35Mbps	60Mbps	50.740Mbps	0.629	9.260Mbps
F(D3→H)	50Mbps	60Mbps	56.296Mbps	0.629	3.704Mbps
G(D4→H)	30Mbps	50Mbps	42.596Mbps	0.629	

도출된다.

$$SoQ_{j,n} = \frac{SR_{j,n} - RR_j}{DR_j - RR_j} \begin{cases} SoQ_{j,n} = 1, & \text{if } SR_{j,n} = DR_j \\ SoQ_{j,n} = 0, & \text{if } SR_{j,n} = RR_j \\ SoQ_{j,n} < 0, & \text{if } SR_{j,n} < RR_j \end{cases} \quad (1)$$

표 2. SoQ 알고리즘에서 정의된 용어
Table. 2 Symbols in the SoQ algorithm

K	Number of TSs(Traffic Stream)
BW	Total bandwidth or Data slots in WUSB Transaction Group
n	n th superframe
$SR_{j,n}$	Serviced data rate of j TS at n th superframe
RR_j	Required data rate of j TS (=r)
DR_j	Desired data rate of j TS (=p)
RE_j	Relinquished bandwidth from the j TS
$SoQ_{j,n}$	Satisfaction ratio of QoS of j TS
$SoQ_{F,n}$	Fair satisfaction ratio of QoS for all TSs

SoQ 알고리즘에서는 Fair SoQ ($SoQ_{F,n}$)를 제공하며, $SoQ_{F,n}$ 는 무선 환경의 변화 또는 디바이스의 이동으로 인해 WUSB 클러스터내 트래픽 스트림의 개수 또는 한 슈퍼프레임내에서 사용 가능한 자원의 양이 변할 때마다 기존의 트래픽 스트림과 새로운 트래픽 스트림을 포함한 모든 트래픽 스트림들에 대해 계산된다 [6]. SoQ 알고리즘에서는 QoS IE를 사용하여 WUSB 클러스

터내의 다른 디바이스들의 QoS 정보를 획득할 수 있다. $SoQ_{F,n}$ 필드는 n번째 슈퍼프레임에서 새로운 트래픽 스트림들을 포함한 모든 트래픽스트림들의 Fair SoQ를 의미하며, 이는 식(2)을 통해 계산된다.

$$SoQ_{F,n+1} = \min \left[\frac{BW - \sum_{j=1}^K RR_j}{\sum_{j=1}^K (DR_j - RR_j)}, 1 \right] \quad (2)$$

n-1 번째 슈퍼프레임에서 새로운 트래픽 스트림의 서비스 요청이 발생하여 새로운 자원들을 예약하기 원하는 디바이스는 단순히 새로운 트래픽 스트림에 대한 QoS IE를 WiMedia MAC 비컨에 포함시킨다. n번째 슈퍼프레임의 비컨 구간에서 이웃들과 비컨을 교환한 뒤 n+1번째 슈퍼프레임에서 새로운 트래픽 스트림과 기존의 트래픽 스트림들의 공평한 QoS 보장을 위해 같은 비컨 그룹에 속한 모든 디바이스들은 자신들에게 속한 트래픽 스트림들에 대한 $SoQ_{F,n+1}$ 을 식 (2)로부터 계산한다.

만약 $SoQ_{F,n+1}$ 이 음수 값을 갖게 되면, n번째 슈퍼프레임에서 더 이상 추가적으로 발생하는 트래픽 스트림들을 수용할 수 없음을 의미한다. 이때 각 디바이스들은 새로운 트래픽 스트림의 전송 요청을 거절하고, $SoQ_{F,n+1}$ 을 이전의 $SoQ_{F,n}$ 값으로 설정한다. 반대로 $SoQ_{F,n+1}$ 이 양수 값을 갖으면 같은 WUSB 클러스터에 속하는 모든 트래픽 스트림들은 새롭게 계산된

$SoQ_{F,n+1}$ 값에 따라 자신의 $SR_{j,n}$ 을 $SR_{j,n+1}$ 로 설정하고 RE_j 만큼의 자원들을 새로운 트래픽 스트림에게 양도한다. $SR_{j,n+1}$ 과 RE_j 는 식 (3)으로부터 계산된다.

$$\begin{aligned} SR_{j,n+1} &= SoQ_{F,n+1} \times (DR_j - RR_j) + RR_j \\ RE_j &= SR_{j,n+1} - SR_{j,n} \end{aligned} \quad (3)$$

III. 제안하는 SoQ 릴레이 전송 프로토콜

본 논문에서는 QoS 향상을 위해, 릴레이 통신 기술을 적용한 SoQ 릴레이 전송 프로토콜 기술을 제안한다. 낮은 데이터 전송률을 제공하는 디바이스에 의한 병목 현상을 회피하기 위해 릴레이 디바이스를 경유하여 또 다른 링크를 예약할 수 있는 SoQ 자원 요청 기술을 제안한다. 제안하는 SoQ_relay DRP 기술에서는 식(4)와 같이, source와 target 디바이스간의 $SoQ_{S-T,F,n}$ 즉, $SoQ_{direct,F,n}$ 값과 source와 relay 디바이스간 및 relay 디바이스와 target 디바이스간 $SoQ_{S-R,F,n}$, $SoQ_{R-T,F,n}$ 값들로부터 결정되는 SoQ_relay 값을 비교하여 최대 $SoQ_{relay,F,n}$ 를 제공하는 릴레이 노드와

릴레이 전송 경로를 결정할 수 있다.

$$SoQ_{relay,F,n} = \min\{SoQ_{S-R,F,n}, SoQ_{R-T,F,n}\} \quad (4)$$

$$SoQ_{direct,F,n} = SoQ_{S-T,F,n}$$

$$\begin{aligned} &SoQ_{RelayNode Selection}(SoQ_{relay}) Criterion \\ &\Rightarrow \max SoQ_{relay,F,n} (> SoQ_{direct,F,n}) \end{aligned}$$

식(4)의 SoQ_relay 선정 기준을 만족하고 이웃 디바이스들 중 송신 PHY 데이터 전송률이 가장 높은 릴레이 노드를 선택하여 릴레이 전송을 위한 자원 예약을 실시한다. WUSB 프로토콜은 호스트와 디바이스 간 통신만을 지원한다. 하지만 릴레이 통신을 위해서는 디바이스와 디바이스간 통신이 가능해야 한다. WUSB 디바이스간 통신 링크를 설정하기 위해 본 논문에서는 WRelayCTA Block을 제안한다. 그리고 bmAttributes 필드의 WXCTA Block Type Code는 WXCTA Block이 WRelayCTA Block임을 나타내기 위해 예약된 값인 11B로 설정한다. bmAttributes 필드의 5번째와 4번째 비트는 WRelayCTA Block에 의해 할당되는 채널 링크의 목적을 가리킨다.

그림 2는 SoQ Relay를 적용한 WUSB 클러스터내에서의 데이터 흐름을 설명하고 있다. WUSB 호스트는 선택된 릴레이 디바이스를 경유하여 타겟 디바이스에게 데이터 프레임을 전송하고자 할 때, COM Mode 비트를 Relay로 설정한 WRelayCTA block을 자신의 MMC 프레임

그림 2. SoQ relay 전송을 적용한 데이터 흐름도
Fig. 2 Data flow in SoQ relay transmissions

입에 포함시킨다. 이 경우, 호스트는 sDeviceID 필드를 0으로 설정한다. WRelayCTA block을 포함하는 MMC 프레임 수신한 디바이스는 COM Mode 비트를 검사하여, 해당 비트가 Relay로 설정되었을 경우, 디바이스는 정해진 다음 MMC의 wStart 지점에서 호스트로부터 데이터를 수신한다. 그 후, 호스트로부터 수신한 데이터 프레임을 지정된 hStart 지점에서 타겟 디바이스에게 전송한다. 릴레이 통신을 종료하기 위해서는, 호스트는 자신의 MMC 프레임에서 해당 WRelayCTA block을 제거한다. 그림 3은 예약주체노드가 수행하는 SoQ relay 수행 절차를 나타낸다.

그림 3. SoQ relay 전송을 위한 호스트의 동작
Fig. 3 Operation flow in host for SoQ relay transmissions

IV. 성능 분석

제안하는 SoQ_relay 전송기술의 성능을 분석하기 위해, 트래픽 포화 상태 환경 하에서 ns2시뮬레이션을 실시하였다. 모든 디바이스들이 서로 1홉 거리에 위치하며, 트래픽 스트림들 A, B, C, E에 대해 SoQ 릴레이 전송이 실행되며, 총 100초의 시뮬레이션 시간 중 40초, 60초, 70초에서 새로운 스트림들이 전송을 시작한다. 본 실험

에서 SoQ_F는 모두 0으로 설정되어, 최소 데이터 전송률 RR이 서비스되는 것을 가정하였다 [5-6].

각 전송 방식의 서비스 전송률 SR_{relay} , SR_{direct} 과 이에 따른 SoQ 값들 즉, $SoQ_{relay, F, n}$, $SoQ_{direct, F, n}$ 를 그림 4와 그림 5에서 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션 결과로부터 SoQ_relay 전송 기술을 적용하여, 트래픽 스트림이 증가한 60초 이후, 증가된 서비스전송률 SR_{relay} 와 증가된 QoS 성능 SoQ_{relay} 를 제공할 수 있음을 알 수 있다.

그림 4. SoQ_relay 릴레이 기술 적용 시 서비스 전송률 SR_relay 성능
Fig. 4 SR_relay performance at SoQ_relay

그림 5. SoQ_relay 릴레이 기술 적용 시 TS A의 SoQ 성능 비교
Fig. 5 TS SoQ performance at SoQ_relay

V. 결 론

본 논문에서 WUSB를 위해 제안된 SoQ_relay 전송 기술은 WiMedia D-MAC의 SoQ 기술의 분산적인 방법을 사용하여 현재 WUSB PHY 계층 데이터 전송률 상황 및 트래픽 밀도에 따라 트래픽 스트림들에게 공평하고 향상된 QoS를 제공할 수 있음을 알 수 있다. 반면에, SoQ_relay 기술의 단점은 동일한 양의 MAS들을 S-R, R-T 두 구간에서 예약해야 하는 채널 용량 저하의 문제가 있으나, 반면 QoS의 향상 및 채널 이용률 향상의 장점이 있다.

참고문헌

- [1] WiMedia Alliance, "Distributed Medium Access Control (MAC) for Wireless Networks," WiMedia MAC Release Specification 1.5, Dec. 2009.
- [2] J. Del Prado Pavon, N. Sai Shankar, V. Gaddam, K. Challapali and Chun-Ting Chou, "The MBOA-WiMedia specification for ultra wideband distributed networks," IEEE Communications Magazine, Vol. 44, No. 6, pp. 128-134, June 2006.
- [3] V.M. Vishnevsky, A.I. Lyakhov, A.A. Safonov, S.S. Mo and A.D. Gelman, "Study of Beaconing in Multi-Hop Wireless PAN with Distributed Control," IEEE Transactions on MOBILE COMPUTING, Vol. 7, No. 1, pp. 113-126, Jan. 2008.
- [4] Certified Wireless USB 1.1. USB-IF (2010), <http://www.usb.org>.
- [5] J.-W. Kim, K. Hur, J. Park, and D.-S. Eom, "A Distributed MAC Design for Data Collision-Free Wireless USB Home Networks," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 55, no. 3, pp. 1337-1343, Aug. 2009.
- [6] Seokhwan Kim, Kyeong Hur, Jongsun Park, Doo-Seop Eom, and Kwang-Il Hwang, "A Fair Distributed Resource Allocation Method in UWB Wireless PANs with WiMedia MAC," Journal of Communications and Networks, Vol. 11, No. 4, pp. 375-383, Aug. 2009.

저자소개

허 경(Kyeong Hur)

1998년 고려대전자공학과 학사
2000년 고려대전자공학과 석사
2004년 8월 고려대 전자공학과
통신공학 박사

2004년 8월 ~ 2005년 8월 삼성종합기술원(SAIT)
전문연구원

2005년 9월 ~ 현재 경인교대 컴퓨터교육과 부교수
※관심분야: 통신시스템설계, 상황인지기술,
컴퓨터교육