

무선 USB 시스템에서 신뢰성과 연결성 향상을 위한 자원 관리 기법

김진우*, 정민아*, 이성로^o

Resource Management Scheme for Improvement of Reliability and Connectivity in wireless USB System

Jin-Woo Kim*, Min-A Jeong*, Seong Ro Lee^o

요 약

본 논문에서는 무선 USB 시스템에서 신뢰성과 연결성을 향상하기 위한 기법을 제안하였다. 무선USB 프로토콜은 고속의 전송속도를 지원하기 때문에, 실시간 멀티미디어 서비스 제공과 같은 응용분야에 적합하다. 하지만, 디바이스의 이동은 네트워크 토폴로지와 디바이스간 링크 상태의 급격한 변화를 야기하며, 네트워크의 성능 저하의 원인이 되기도 한다. 특히 사람의 이동이 빈번한 선박 네트워크 환경에서는 디바이스의 이동성이 더 심해진다. 본 논문에서는 기존의 무선 USB 표준에서 무선 채널의 상태 변화를 적절하게 대처하지 못하여 발생하는 네트워크 성능 저하 문제를 해결하는 릴레이 통신을 위한 자원 관리 기법을 제안하여 성능을 분석하였다.

Key Words : UWB (Ultra Wide-Band), Ship Area Network, Relay Communication, High-Rate WPAN (Wireless Personal Area Network) Wireless USB (Universal Serial Bus)

ABSTRACT

In this paper, a resource management scheme for enhancing the network connectivity and reliability in wireless USB system is proposed. Wireless USB protocol is suitable for the application that supports the real-time multimedia service in Ship Area Network since it supports high speed data transfer. However, the device's mobility is caused the dramatic change of link state and network topology, and is occurred the degradation of network performance. Therefore, a resource management scheme for wireless USB system is proposed in this paper. The proposed technique can intelligently treat the change of link state, and solve the degradation of network performance. The simulation results show that proposed protocol can enhance the throughput and delay performance by selecting relay device with better link state.

* 이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2009-0093828)과 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0401-14-1009).

◆ First Author : Mokpo National University Institute Research of Information Science and Engineering, jjin300@gmail.com, 정희원

○ Corresponding Author : Mokpo National University Department of Information & Electronics Engineering, srlee@mokpo.ac.kr, 정희원

* Mokpo National University Department of Computer Engineering, majung@mokpo.ac.kr. 정희원

논문번호 : KICS2014-10-396, Received October 8, 2014; Revised November 17, 2014; Accepted November 17, 2014

I. 서 론

최근 몇 년간, 무선 홈 네트워크 환경에서의 고품질 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 점차 증대되고 있다. UWB 기술은 짧은 전송거리와 수백Mbps의 전송 속도를 지원하기 때문에, 실시간 멀티미디어 서비스를 지원하기 위한 네트워크 프로토콜의 PHY 계층으로 이용되고 있다. WiMedia Alliance는 점점 파일크기가 커져가는 멀티미디어 데이터에 대한 무선 환경을 제공하기 위해 UWB 기반의 PHY/MAC 표준을 발표하였다. WiMedia Alliance는 뿐만 아니라 Wireless 1394, Wireless USB, Bluetooth와 같은 다양한 무선 프로토콜과의 융합을 지원하기 위한 인터페이스도 제공하고 있다.

USB-IF(Universal Serial Bus - Implementer Forum)는 기존의 USB 프로토콜과 UWB 기술을 결합시키기 위해 WiMedia PHY/MAC 프로토콜을 도입하여 무선 USB 표준을 발표하였다. 무선 USB 표준은 10m 이내에서 고속의 속도를 제공하며, 전송 속도는 유선 USB 2.0 규격의 속도와 같은 최대 480Mbps이다. 무선 USB는 광대역 멀티미디어 스트림과 데이터의 전송이 가능한 최초의 무선 기술이고, 유선 USB에서 무선 USB로 쉽게 전환할 수 있도록 유선 USB의 호스트-디바이스 구조, 사용 모델 및 단순함을 유지한다.

무선 USB는 일반적으로 PC에 해당하는 무선 USB 호스트와 동시에 접속 가능한 주변장치 사이에 데이터 교환을 가능하게 하는 논리적인 버스이다. 무선 USB 호스트에 접속된 주변장치들은 호스트 주도의 TDMA 프로토콜을 통해 대역폭을 공유한다. 무선 USB는 그림 1과 같이, 'Hub and Spoke' 모델을 이용하여 무선 USB 디바이스들을 무선 USB 호스트에

연결시킨다. 무선 USB 호스트는 연결된 각 디바이스들에 시간 슬롯과 데이터 대역폭을 할당하여 호스트에 연결된 디바이스들 사이의 모든 데이터 트래픽을 초기화시킨다. 각 연결은 호스트와 디바이스 사이에 점대점이며 방향성이 존재한다. 무선 USB 호스트는 논리적으로 최대 127 개의 디바이스 연결이 가능하다.

무선의 특성상 무선 USB 호스트와 무선 USB 디바이스 사이의 무선 링크는 시간에 따라 링크 품질이 저하될 수 있다. 또한, 장치들의 이동성으로 인해 링크 품질이 저하될 수도 있다. 이러한 링크 품질의 저하는 무선 USB 네트워크내의 데이터의 손실이나 처리량의 저하의 원인이 될 수 있으며, 결국에는 네트워크 전체의 신뢰성에 악영향을 미치게 된다. 특히, 사람들의 이동이 빈번한 선박 네트워크와 같은 환경에서는 이러한 디바이스 이동에 의한 링크 품질의 저하가 심화된다. 따라서, 본 논문에서는 무선 USB 네트워크의 신뢰성을 향상시키기 위한 링크 관리 및 자원 관리 기법을 제안한다. 본 논문에서는 네트워크의 링크 품질을 모니터링하기 위한 기법과 링크의 상태가 저하될 경우 새로운 경로를 찾기 위한 릴레이 노드 선택 기법, 그리고 릴레이 통신을 위한 새로운 자원 관리 기법을 제안한다.

II. 무선 USB 시스템 모델

무선 USB는 무선 USB 호스트와 연결된 무선 USB 디바이스간에 통신 서비스를 제공한다는 점에서 USB 2.0 과 매우 유사하다. 무선 USB는 WiMedia MAC의 MAS(Medium Access Slot) 예약을 통해 MAC 계층의 슈퍼 프레임 내에서 캡슐화하여 무선 USB 채널을 정의한다. 무선 USB 채널은 MAC 계층의 분배 예약구간에서 호스트가 전송하는 MMC(Micro-scheduled Management Commands)라 불리는 특수 용도의 제어 패킷들로 형성된다. MMC 들로 구성되어 연결된 스트림은 주로 무선 USB 호스트와 무선 USB 엔드포인트 간에 동적으로 채널시간을 스케줄링 하기 위해 사용된다. MMC는 다음 MMC가 도달하기 전에 예약된 구간에서 구간의 끝부분까지 MS-CTA(Micro-Scheduled Channel Time Assignment)가 구성된다. MS-CTA가 예약되지 않은 경우에 두 MMC 사이의 채널 시간은 사용되지 않는다.

MMC 프레임은 무선 USB 트랜잭션내에서의 채널 사용에 대한 정보를 담은 WCTA(wireless USB channel time allocation) IE를 포함한다^[2]. 그림 2는 WCTA IE의 구조를 보여주었고 있다. bLength 필드는



그림 1. 무선 USB 네트워크 토폴로지
Fig. 1. Wireless USB network topology

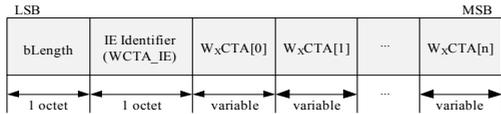


그림 2. WCTA IE의 구조
Fig. 2. The format of WCTA IE

the WCTA IE의 총 길이를 나타낸다. WCTA IE는 한 개 이상의 W_xCTA 블록들로 구성되어 있으며, W_xCTA 블록은 MMC 프레임과 연관된 타임 슬롯 할당에 대한 정보를 포함한다. W_xCTA 블록의 종류는 다음과 같다: W_{DRCTA} (Device Receive), W_{DTCTA} (Device Transmit), $W_{DNSTCTA}$ (Device Notification Time Slot).

III. 본 론

본 논문은 각각의 무선 USB 디바이스가 이웃하는 디바이스들과의 무선 링크 품질을 모니터링하기 위한 기법을 제안한다. 무선 링크 품질을 모니터링하기 위해 본 논문에서는 NLQ IE (Neighborhood Link Quality Information Element) 및 링크 품질 모니터링 명령 프레임을 제안한다. 제안하는 모니터링 기법을 이용하면 보다 높은 링크 품질을 갖는 릴레이 디바이스를 선택할 수 있기 때문에, 보다 안정적인 우회 경로를 설정할 수 있다. 또한, 선택한 우회 경로를 위한 자원 예약 기법을 제안하여, 무선 장치의 이동에 의한 충돌에 의한 성능저하를 최소화하며, 보다 안정적인 무선 통신을 수행할 수 있는 효율적인 자원 관리 기법을 제안한다. 각각의 디바이스는 이 요소를 비콘 프레임들로 피기백(piggyback)하거나 또는 NLQ IE를 개별 프레임들로 전송함으로써 주기적으로 또는 비주기적으로 브로드캐스팅한다. 각각의 디바이스는 그 이웃들에 의해 전송된 모든 링크 품질 정보를 기록하고, NLQ(neighborhood link quality) 테이블을 구성한다.

3.1 Link Monitoring

그림 3은 제안하는 NLQ IE의 구조를 보여준다.

그림 3에서, Element ID는 정보요소 (IE)를 구분하는 필드이며, Length 필드는 NLQ IE를 구성하는 필드들의 전체 크기를 포함한다. 링크 필드들은 디바이스가 이웃 디바이스들과 연결된 무선 링크들의 측정 정보들을 포함한다. 예를 들면, 하나의 디바이스가 4개의 이웃 디바이스들과 연결된 경우, 4개의 링크 필드들이 무선 링크들의 품질 정보들을 주변에 알리기

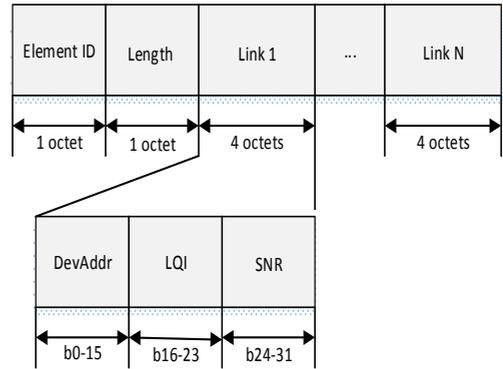


그림 3. 제안하는 NLQ IE의 구조
Fig. 3. The format of proposed NLQ IE

위해 NLQ IE에 포함된다. 해당 링크 정보들은 링크 품질 정보, 신호 대 잡음비들을 포함한다.

링크 품질 모니터링 명령 프레임은, 통상적으로 헤더, 페이로드 데이터 및 프레임 확인 시퀀스이다. 프레임 타입은 그 것이 명령 프레임임을 나타낸다. 프레임 서브타입은 MAC 프레임이 링크 품질 모니터링 명령 프레임임을 나타낸다. MAC 프레임의 페이로드 데이터는 NLQ IE를 포함한다. 상기 언급된 바와 같이, 주문형 모니터링 방법의 타입은 제어 필드에 표시된다. 제어 필드가 NLQ IE의 일부가 아니면, NLQ IE 또는 MAC 프레임에서의 예약된 비트가 2개의 타입들의 모니터링 방법들 사이를 지정하기 위해 이용될 수 있다.

그림 4는 제안하는 무선 링크 품질 모니터링 기법에 대한 흐름도를 보여준다. 연속적인 모니터링 처리는 무선 USB 호스트 및 디바이스에 의해 수행된다.

이웃 디바이스로부터 비콘을 수신한 디바이스는 2개의 디바이스들 사이에 무선 링크의 품질을 측정한다. 측정들은 SNR(Signal to Noise Ratio), 데이터 전송률 및 RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 포함한다. 측정된 링크 품질에 관한 데이터들은 표 1에 나타난 NLQ 테이블에 저장된다. NLQ 테이블은 수신 및 전송 디바이스들의 어드레스들을 저장하는 디바이스 어드레스 필드 및 링크 품질 측정 필드를 포함한다. 전송 디바이스의 어드레스는 "Src" 서브필드에 기록되고, 수신 디바이스의 어드레스는 "Dst" 서브필드에 저장된다. NLQ 테이블은 디바이스가 그 이웃하는 디바이스들과 가진 모든 무선 링크들에 대한 엔트리들을 포함한다.

디바이스는 NLQ IE가 포함된 비콘을 전송함으로써 NLQ 테이블에 기록된 무선 링크들의 품질을 주변

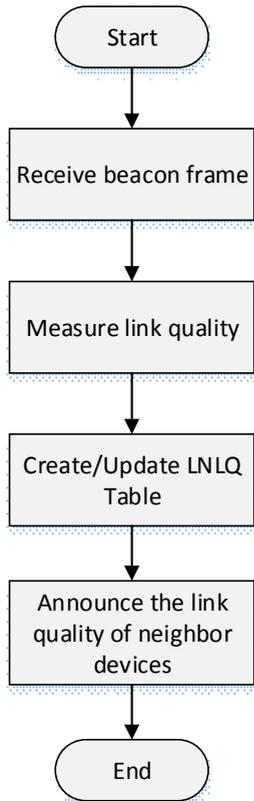


그림 4. 무선 링크 모니터링에 대한 프로세스
Fig. 4. Process for Link Monitoring

표 1. NLQ 테이블의 구성
Table 1. NLQ Table

Device Address		Link Quality Measurements
Src	Dst	

디바이스들에게 알린다. NLQ IE는 "Src" 서브필드에 나열된 모든 디바이스들의 어드레스들을 포함하며, NLQ IE의 링크 필드들은 각각의 무선 링크들의 품질 측정들을 포함한다.

디바이스가 NLQ IE를 포함하는 비콘을 수신할 때, 디바이스는 그에 맞춰 자신의 NLQ 테이블을 수정한다. 특히, "Dst" 서브필드는 비콘 전송 디바이스의 어드레스로 업데이트되고, "Src" 서브필드는 NLQ IE에 나열된 디바이스들의 어드레스들을 포함하도록 변경된다. 링크 품질 측정 필드는 수신된 NLQ IE에 새로운 정보를 포함한다.

링크 품질 측정으로 인한 오버헤드를 줄이기 위해, 모든 WUSB 디바이스들은 이웃 디바이스들과의 링크

품질이 변하지 않을 경우에는 미리 설정한 superframe 구간 동안 비콘에 NLQ IE를 포함시키지 않는다. 이웃 디바이스와의 링크 품질이 변할 때, 디바이스는 이웃들에게 변경된 링크 품질 정보를 브로드캐스팅한다.

그림 5는 제안하는 무선 링크 품질의 모니터링 기법을 보여주고 있다.

모니터링 명령을 수신하는 디바이스는 그 어드레스가 수신된 NLQ IE에서 포함되는지를 확인하고, 디바이스와 그 이웃들 사이의 무선 링크들의 품질 정보를 포함하는 NLQ IE에 응답한다. 응답하는 NLQ IE에는 유효한 품질 측정들을 가진 링크들만이 포함된다. 디바이스가 NLQ 테이블에 저장된 충분한 데이터를 가지는지를 확인하고, 그러하다면, 실행이 종료된다. 그렇지 않으면, 무선 USB 디바이스는 제안하는 모니터링 기법을 계속 수행한다. 또한, 연결된 무선 링크들의 일부의 품질이 변경되었을 때 제안하는 링크 품질 모니터링 기법을 수행한다.

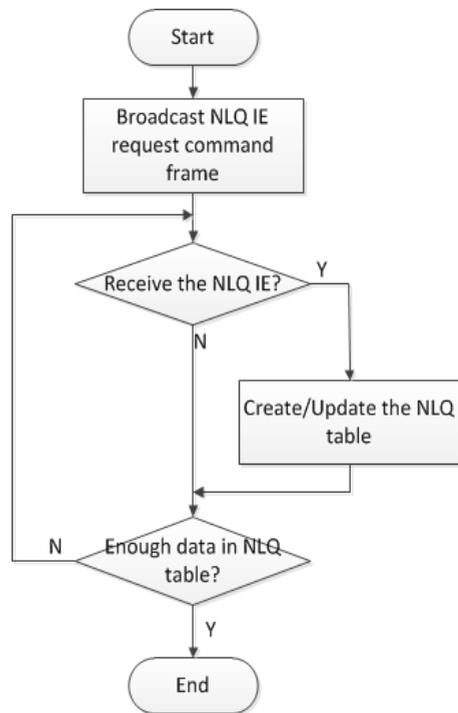


그림 5. 무선 링크 모니터링에 대한 순서도
Fig. 5. The flow chart of link quality monitoring

3.2 Relay node selection

제안하는 링크 품질 모니터링 기법을 통해 무선 USB 호스트는 주변 무선 USB 디바이스와의 링크 품질에 대한 정보를 수집하고 테이블로 저장할 수 있다.

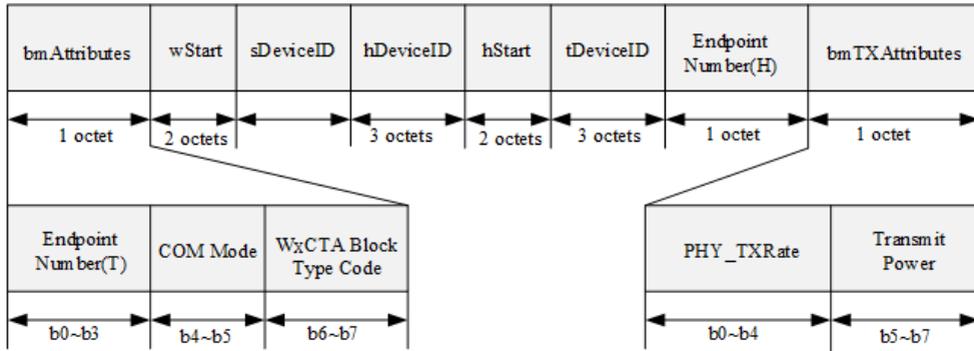


그림 6. 제안하는 $W_{RelayCTA}$ block의 구조
 Fig. 6. The proposed $W_{RelayCTA}$ block

무선 USB 호스트와 무선 USB 디바이스 사이의 링크에 문제가 발생하면, 무선 USB 호스트는 식(1)과 같이, 소스와 목적지 디바이스간의 LQI_{S-T} 즉, LQI_{direct} 값과 소스와 릴레이 디바이스간 및 릴레이 디바이스와 목적지 디바이스간 LQI_{S-R} , LQI_{R-T} 값들로부터 결정되는 LQI_{relay} 값을 비교하여 최대 LQI 값을 제공하는 릴레이 노드와 릴레이 전송 경로를 결정할 수 있다.

$$LQI_{relay} = \min\{LQI_{S-R}, LQI_{R-T}\}$$

$$LQI_{direct} = LQI_{S-T}$$

$$LQI_{Relay\ Node\ Selection\ (LQI_{relay})\ Criterion} \Rightarrow \max LQI_{relay} (> LQI_{direct}) \quad (1)$$

현재 무선 USB의 기반이 되는 WiMedia 표준은 모든 디바이스들이 자신의 비콘 프레임에 자신의 데이터 전송속도에 대한 정보를 포함시킬 수 있다. 따라서, 무선 USB 호스트는 수신된 비콘 프레임의 데이터 전송속도를 바탕으로 식 (1)의 LQI_{relay} 선정 기준을 만족하고 이웃 디바이스들 중 송신 PHY 데이터 전송률이 가장 높은 릴레이 노드를 선택하여 릴레이 전송을 위한 자원 예약을 실시한다.

3.3 Resource management

무선 USB 프로토콜은 호스트와 디바이스 간 통신만을 지원한다. 하지만 릴레이 통신을 위해서는 디바이스와 디바이스간 통신이 가능해야 한다. 무선 USB 디바이스간 통신 링크를 설정하기 위해 본 논문에서는 $W_{RelayCTA}$ Block을 제안한다. 그림 6은 $W_{RelayCTA}$ Block의 구조를 보여주고 있다.

bmAttributes 필드의 W_xCTA Block Type Code는 W_xCTA Block이 $W_{RelayCTA}$ Block임을 나타내기 위해 예약된 값인 00H로 설정한다. bmAttributes 필드

의 5번째와 4번째 비트는 $W_{RelayCTA}$ Block에 의해 할당되는 채널 링크의 목적을 가리킨다.

bmAttributes 필드의 Endpoint Number(T) 서브필드는 타겟 디바이스의 endpoint number를 가리킨다. wStart 필드는 MMC의 시작으로부터의 오프셋으로 설정하며, 소스 디바이스, 즉 무선 USB 호스트가 데이터 프레임을 전송하는 시작시간을 가리킨다. hStart 필드는 릴레이 디바이스가 타겟 디바이스에게 데이터 프레임을 전송하기 시작하는 시간을 가리킨다. hDeviceID와 tDeviceID 필드는 릴레이 디바이스와 타겟 디바이스의 주소를 가리킨다. Endpoint(H) 필드는 릴레이 디바이스의 endpoint number를 가리킨다.

그림 7은 제안하는 릴레이 기법을 적용한 무선 USB 클러스터내에서의 데이터 흐름을 설명하고 있다. 무선 USB 호스트는 선택된 릴레이 디바이스를 경유하여 타겟 디바이스에게 데이터 프레임을 전송하고자 할 때, COM Mode 비트를 릴레이로 설정한 $W_{RelayCTA}$ block을 자신의 MMC 프레임에 포함시킨다.

이 경우, 호스트는 sDeviceID 필드를 0으로 설정한다. $W_{RelayCTA}$ block을 포함하는 MMC 프레임을 수신한 디바이스는 COM Mode 비트를 검사하여, 해당 비트가 릴레이로 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 $W_{RelayCTA}$ block을 제거한다. 그림 8, 그림 9는 소스 디바이스, 릴레이 디바이스가 수행하는 릴레이 기법 수행 절차를 나타낸다.

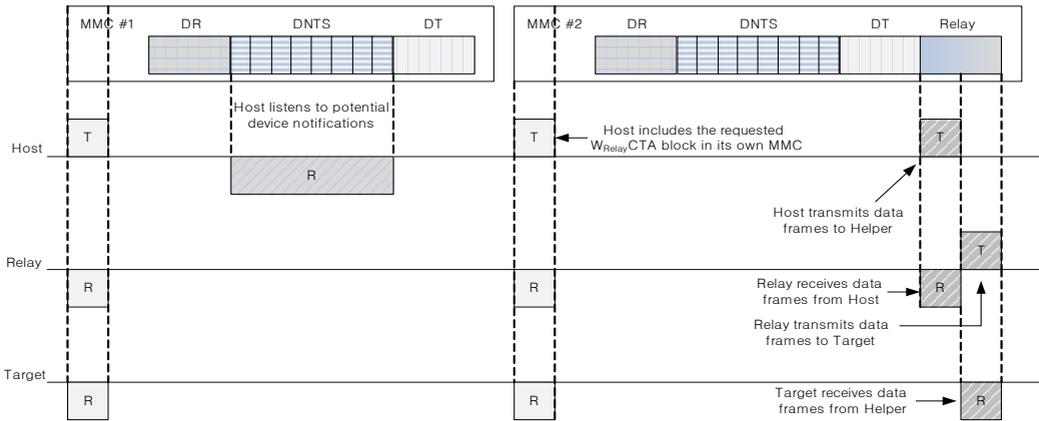


그림 7. 제안하는 릴레이 기법을 적용한 무선 USB 클러스터내에서의 데이터 흐름
 Fig. 7. The Data flow using the proposed scheme in wireless USB cluster

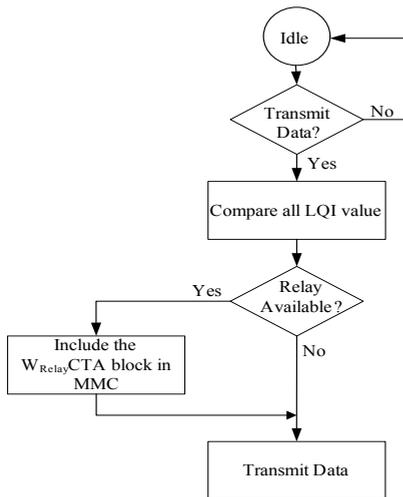


그림 8. 무선 USB 호스트의 동작
 Fig. 8. The flow chart of wireless USB host

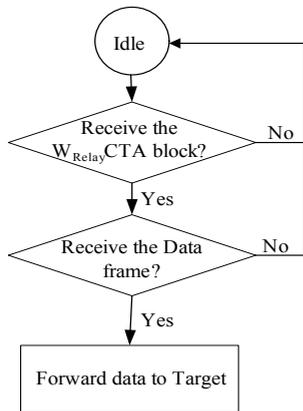


그림 9. 릴레이 디바이스의 동작
 Fig. 9. The flow chart of relay device

IV. 실험

본 논문에서 제안하는 자원 관리 기법이 기존에 제안된 무선 USB 프로토콜보다 성능이 향상됨을 제시하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 검증하였다. 실험에서 사용된 시뮬레이션 파라미터는 표 2와 같다.

그림 10에서 보는 바와 같이, 제안하는 알고리즘은 기존의 무선 USB 프로토콜보다 성능이 향상되었음을 보여주고 있다. 디바이스의 이동성은 단순히 디바이스의 위치뿐만 아니라 디바이스들 사이에 형성된 채널 상태도 변화시킨다. 따라서, 디바이스의 이동 때문에 발생하는 소스와 목적지 디바이스 사이의 링크상태의 저하는 소스 디바이스가 낮은 전송 속도만을 지원할

표 2. 시뮬레이션 파라미터
 Table 2. Simulation Parameter

Parameter	Value
Network Size	100m x 100m
Basic Data Rate	53.3Mbps
Bandwidth	528Mhz
Superframe Length	65.536ms
MAS size	256 μ s
Beacon Slot time	85 μ s
Symbol Length	312.5ns
Preamble Length	9.375 μ s
Header Length	3.75 μ s
SIFS	10 μ s
MIFS	1.875 μ s
Transmission Power	-41.3dB/Mhz
MSDU size	1024bytes

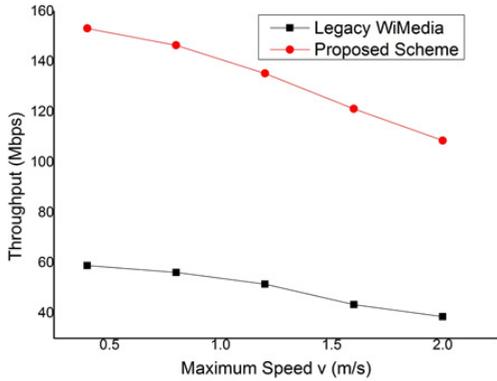


그림 10. 디바이스의 최대 이동속도에 따른 수율의 변화
Fig. 10. Throughput vs. Device's speed

수밖에 없도록 한다. 이는 네트워크 전체의 성능저하를 야기시키는 원인이 되지만, 제안하는 기법에서는 더 좋은 링크상태를 갖는 릴레이 노드를 거쳐 데이터를 전송할 수 있도록 하여 전체적인 데이터 전송률을 높일 수 있기 때문에 전체 네트워크의 성능저하를 줄일 수 있다.

그림 11은 디바이스의 최대 이동속도에 따른 지연 시간의 변화를 보여준다. 디바이스의 이동속도가 높아지면 무선 채널의 상태변화도 심해지게 되며, 전체적인 무선 링크를 통한 데이터 전송속도도 저하되게 된다. 기존의 무선 USB 표준은 저하된 링크 속도에 대처하기 위한 기법을 제공하지 않기 때문에 지연시간도 증가하게 된다. 하지만, 제안하는 기법은 링크의 상태가 악화되면, 다른 링크를 찾아 데이터를 전달하기 때문에, 디바이스의 이동으로 인한 지연시간의 증가를 줄일 수 있다.

그림 12는 이웃 디바이스의 수에 따른 수율의 변화

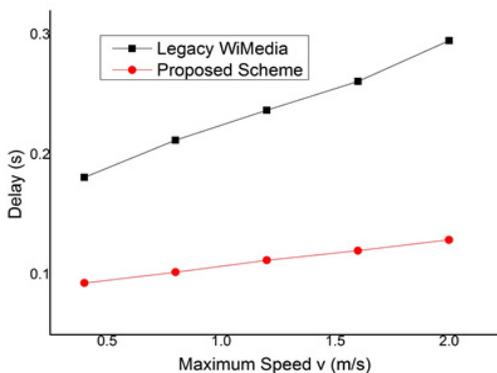


그림 11. 디바이스의 최대 이동속도에 따른 지연 시간의 변화
Fig. 11. Delay vs. Device's speed

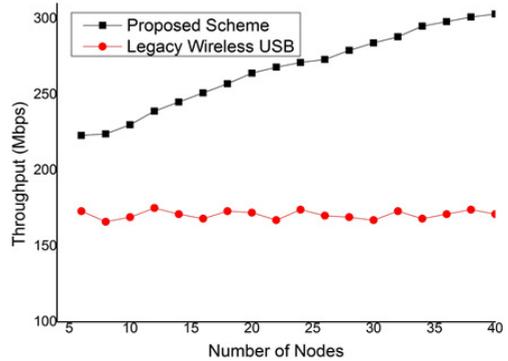


그림 12. 디바이스 수에 따른 수율의 변화
Fig. 12. Number of Devices vs. Throughput

를 보여준다. 그림 12에서 보는 바와 같이 제안하는 알고리즘은 기존의 무선 USB 표준보다 성능이 향상되었음을 보여주고 있다. 이러한 성능향상 이유는 제안한 프로토콜에서는 소스와 목적지 디바이스 사이의 링크상태가 좋지 못하여 낮은 전송 속도만을 지원하지 못할 경우, 높은 전송속도를 지원하는 릴레이 노드를 거쳐 데이터를 전송할 수 있도록 하여 데이터 전송률을 높일 수 있기 때문이다. 또한 제안하는 알고리즘은 잠재적인 릴레이 노드들의 spatial diversity를 이용할 수 있기 때문에 이웃 노드들이 많으면 많을수록 기존의 무선 USB 표준과 비교할 때 더 높은 수율을 보여 줄 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 무선 USB 네트워크의 신뢰성을 향상시키기 위한 링크 관리 및 자원 관리 기법을 제안하였다. 특히 제안된 프로토콜에서는 네트워크의 링크 품질을 모니터링하기 위한 기법과 링크의 상태가 저하될 경우 보다 높은 전송속도를 갖는 새로운 경로를 선택할 수 있게 한다. 또한 제안한 릴레이 선택기법은 디바이스의 이동이 빈번한 선박 네트워크 환경에서 디바이스의 이동으로 인해 발생할 수 있는 간섭이나 충돌을 회피할 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통하여 제안하는 알고리즘이 기존의 무선 USB 표준과 비교하여 수율과 지연시간의 측면에서 보다 향상된 성능을 보여주는 것을 확인하였다.

References

[1] WiMedia MAC Release Spec. 1.01, *Distributed medium access control (MAC) for wireless networks*, Dec. 15, 2006.

[2] Certified Wireless USB from the USB-IF, <http://www.usb.org/developers/wusb/>

[3] J.-P. Pavon, N.-S. Shankar, V. Gaddam, K. Challapali, and C.-T. Chou, "The MBOA-WiMedia specification for ultra wideband distributed networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 44, no. 6, pp. 128-134, Jun. 2006.

[4] 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 Trans. Mob. Comput.*, vol. 7, no. 1, pp. 113-126, Jan. 2008.

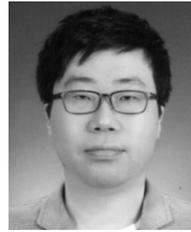
[5] C.-T. Chou, J. Del Prado Pavon, and N. Sai Shankar, "Mobility support enhancements for the WiMedia UWB MAC protocol," in *Proc. 2nd Int. Conf. Broadband Netw. (BroadNets 2005)*, vol. 2, pp. 136-142, Boston, MA, Oct. 2005.

[6] H.-B. Jung, S.-H. Kim, and D.-K. Kim, "Energy efficient relay selection in a multi-hop ad-hoc environment," *J. KICS*, vol. 37B, no. 5, pp. 327-337, May 2012.

[7] J. Lee and M. Yang, "Relay selection schemes using STBC technique in OFDM-based cooperative wireless communications," *J. KICS*, vol. 36, no. 7, pp. 640-648, Jul. 2011.

[8] A. D. Le, J.-B. Park, Y. O. Cho, M.-A. Jeong, S. R. Lee, and Y. H. Kim, "Self-interference cancellation-aided relay beamforming for multi-way relaying systems," *J. KICS*, vol. 38C, no. 4, pp. 378-386, Apr. 2013.

김진우 (Jin-Woo Kim)



2003년 8월 : 고려대학교 전자전파공학부 졸업
 2005년 8월 : 고려대학교 전자컴퓨터공학과 석사
 2011년 8월 : 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사
 2011년~현재 : 목포대학교 정보산업연구소(대학중점연구소) 연구교수
 <관심분야> 해양IT융합기술, WPAN, IoT, Vehicular Network

정민아 (Min-A Jeong)



1992년 2월 : 전남대학교 이학사
 1994년 2월 : 전남대학교 이학석사
 2002년 2월 : 전남대학교 이학박사
 2002년 4월~2003년 2월 : 광주과학기술원정보통신공학과 Post-Doc
 2003년 4월~2005년 2월 : 전남대학교 전자통신기술연구소 Post-Doc
 2011년 9월~2013년 2월 : Cleveland Clinic Research
 2005년 3월~현재 : 목포대학교 컴퓨터공학과 부교수
 <관심분야> 데이터베이스데이터마이닝, 생체인식시스템, 무선통신응용분야, 임베디드시스템

이성로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학사
 1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 1996년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사
 1997년 9월~현재 : 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수
 <관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레메틱스응용분야, 임베디드시스템