

HID 사용 환경에서 Bluetooth 재접속 지연시간 개선을 위한 Pre-paging

이 재 호*

Pre-Paging for Low Latency Reconnection of Bluetooth HID

Jaeho Lee*

요 약

무선 오디오전송과 키보드 및 마우스 등의 HID에 현재까지 활용되고 있는 Bluetooth BR/EDR 기술은 Bluetooth Low Energy 기술과 더불어 서로 다른 사용 환경에서 활발히 적용되고 있다. 하지만 HID는 장시간 사용하지 않을 경우 장치의 에너지 절감을 위하여 유휴상태로 진입하며, 이후 사용자가 HID를 다시 사용할 경우 BR/EDR 기술 특성상 처음 접속 절차와 동일하게 pairing을 시도하게 되므로 HID 재사용시 지연이 발생한다. 본고는 이러한 재접속 지연문제를 개선하기 위하여 FPPS(Fast Pre-Paging Scheme)을 제안하고 이를 위한 Semi-Connected 상태를 추가하였으며, HID 유형별 데이터 전송 효율화를 위한 차별화 방안을 제시한다. 또한 본고에서 제안한 기법의 효율을 검증하기 위하여 기존 지연시간 측면에서 기존 BR/EDR 기술과 제안 기술의 비교 성능실험을 진행하였으며, 재접속 수와 트래픽량 증가 관점에서 제안 기법의 성능 우위를 입증하였다.

Key Words : Bluetooth, BR/EDR, HID, Reconnection, Low Latency.

ABSTRACT

Bluetooth BR/EDR technology has been widely deployed for wireless audio transmission and HID's such as keyboard and mouse, along with Bluetooth Low Energy. However, HID's can transit to sleep state for their energy conservation if they were not used during long times. Depending on the specifications of BR/EDR, this can cause long latency problem due to the same pairing process with first connection case when the devices would be used again. In this paper, a new scheme called FPPS(Fast Pre-Paging Scheme) is designed by suggesting a new state machine called Semi-Connected state, and an additional scheme of differentiated classification depending on the types of HID's is also designed. All comparison results related to reconnection latency have been analyzed to evaluate the performance of the proposed scheme, and the enhanced performances have been also presented by the above results in terms of the increment of reconnection numbers and traffic amount.

I. 서 론

2012년 이후로 현재까지 발표된 Bluetooth 표준 기술은 Basic Rate / Enhanced Data Rate(BR/EDR)과 Low Energy(LE)로 Core Specification이 구분되며,

이중 BR/EDR은 센서네트워크^[1] 등과 함께 근거리 WPAN 기술의 시장 지배적 우위를 차지하며 많은 제품에 적용되는 무선 통신 기술이다.

Bluetooth 표준 기술은 Bluetooth Special Interest Group(SIG)^[2]에서 개발 및 발표하고 있으며, 크게 물

* First Author : (ORCID:0000-0003-0455-9939)Seowon University, Department of Information and Communications Engineering, izeho@seowon.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2018-03-063, Received March 19, 2018; Revised May 17, 2018; Accepted June 15, 2018

리계층과 데이터링크 계층으로 구성된 Core 표준과 상위 프로파일 표준으로 분류된다. 이 중 일반적으로 Bluetooth 버전을 명칭하는 부분은 Bluetooth Core 표준이며, 현재까지 BR/EDR이 탑재된 Bluetooth Core 2.1^[3] 기술을 포함하여 LE 기술이 탑재된 4.0^[4], 4.1 및 4.2 표준기술, 그리고 2016년 12월에 발표된 원거리 통신과 속도 향상 기능이 탑재된 Bluetooth Core 5.0^[5] 기술이 존재한다.

사물인터넷 시장이 활성화되면서 다양한 분야의 요구를 만족시킬 수 있는 Bluetooth LE 기술이 적용된 제품들이 높은 기대와 함께 활발히 출시되고 있으며, 수 많은 매체에서 Bluetooth 5.0 출시와 함께 Bluetooth LE 시장의 밝은 미래전망을 예측하고 있다. 하지만 무선 헤드폰과 키보드/마우스 등 아직까지 사용자 환경에 자리 잡은 Bluetooth 기술은 BR/EDR 기술이며, 이 기술은 향후에도 LE와 더불어 서로 다른 응용에서 상생할 것이며 Bluetooth SIG 역시 최근 출시된 Bluetooth 5.0 표준 규격에 기존 BR/EDR 기술을 포함시키고 있다.

Bluetooth LE 기술은 사물인터넷 시장의 요구와 함께 다양한 측면에서 에너지 효율과 전송 성능이 검증되어 왔으며^[6-8] 향후 발전 가능성 또한 높다. 하지만, 이러한 LE의 부흥에도 불구하고 스마트폰, TV 등의 가전, 무선 헤드폰, 마우스와 키보드 등 수 많은 제품들이 Bluetooth BR/EDR 기술을 사용하고 있으며, Wi-Fi에 비하여 데이터 전송 속도는 다소 낮지만, 에너지 효율이 매우 높기 때문에 소형 배터리로 동작하는 제품 등에 적용할 경우 높은 효과를 볼 수 있다. 또한 Bluetooth BR/EDR을 채용하는 마우스, 키보드 등의 Human Input Device(HID) 제품의 시장 공급량이 크게 증가하고 있으며, 이는 향후 저전력 근거리 통신 기술의 빠른 시장 성장 가능성을 견인하고 있다.

HID는 크게 마우스와 키보드의 두 가지로 구분되며 이들 장치가 Bluetooth를 사용할 때에는 많은 이득을 줄 수 있다. 하지만, 특별한 On/Off 버튼이 없는 장치이기에, 수 시간 사용하지 않는 HID는 에너지 낭비를 막기 위하여 Bluetooth Transceiver를 Sleep 상태로 전환하며, 사용자가 해당 장치를 다시 사용할 때에는 Bluetooth가 PC나 노트북 등의 host 장치와 또 다시 pairing 해야 하는 단점이 있다. 또한 빈번한 HID의 pairing은 빈번한 접속지연을 발생시키고, 사용자 편의성을 크게 저하시킨다.

위와 같은 문제점은 Bluetooth 기술이 특정 시간 동안 데이터 전송이 없는 장치에 대하여, 에너지 효율을 확보하기 위해 자동적으로 pairing 상태를 종료하

는 메커니즘이 동작하기 때문에 발생한다. 하지만, 일반적으로 사용자가 PC 등을 사용할 때 특정 시간 동안 키보드와 마우스 등의 HID를 사용하지 않는 경우가 빈번히 발생하고, 이러한 경우 HID는 host 장치와 pairing과 접속종료 절차를 반복하게 된다. 또한 접속이 종료된 HID가 pairing을 시도할 경우 재접속 지연 시간으로 인하여 사용성이 낮아진다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 기존 Bluetooth BR/EDR 표준에서 재접속 지연 문제를 낮추기 위하여 다음과 같은 기법을 제안하고자 한다. 먼저 초기 pairing된 이력이 있는 HID가 Bluetooth 재접속을 시도할 경우, 초기 접속 (또는 pairing) 절차보다 신속하게 재접속을 수행하기 위하여 기존 Bluetooth state machine에 Semi-Connected state를 추가하여 재접속 지연시간을 줄일 수 있는 Fast Pre-Paging Scheme(FPPS)을 제시한다.

두 번째로 기존 Bluetooth Core 표준의 state machine에 Semi-Connected state 단계를 추가하고 이를 통해 HID가 Paging 후에 전송할 짧은 데이터가 존재할 경우 즉각적인 데이터 전송을 허용할 수 있는 방안을 제시한다. 이때 대상 HID의 유형을 키보드 등의 버튼 입력 장치와 마우스 등의 포인팅 장치로 구분하고 각 장치 유형별로 Semi-Connected state를 가변적으로 연장시키거나 Connected state로 빠르게 상태를 변환하는 방안을 제시한다.

이와 같은 방안을 통하여 기존 Bluetooth BR/EDR 기술을 변경할 경우, 장시간 미사용 HID가 에너지 효율을 위해 sleep 상태를 유지하더라도 사용자 입력 즉시 Semi-Connected state 상태에서 데이터 전송이 가능하기 때문에 기존 Bluetooth BR/EDR 기술 대비 지연시간 문제는 크게 완화될 것으로 예측된다.

II. 연구 배경

2.1 BR/EDR 표준화 현황 및 문제점 분석

Bluetooth 기술은 10meter 이내의 근거리 통신 환경에서 사용되는 개인화 네트워크 (WPAN: Wireless Personal Area Networks)를 위하여 IEEE 802.15 Task Group(TG)에서 802.15.4^[9] 등과 같이 초기 802.15.1 규격으로 발표되었으나, 이후 버전부터는 IEEE에 독립적으로 Bluetooth SIG 내에서 자체적으로 표준화를 진행하고 있다. 따라서 IEEE 802.15.1 규격을 Bluetooth 1.0으로 명칭하고 Bluetooth SIG에서는 1.1 이후부터 현재까지의 규격을 자체적으로 개발하여 발표하고 있다.

Bluetooth SIG 규격은 1.1 이후에 1.2와 2.0을 거쳐 BR/EDR이 포함된 Bluetooth 2.1 규격이 발표되면서 스마트폰과 TV 등에 무선 오디오 전송 기능을 목적으로 탑재되었으며, 현재까지 다양한 무선 헤드폰과 포터블 스피커 등 광범위한 제품들이 출시되어 광범위하게 활용되는 표준 기술로서 자리를 잡고 있다.

이후, IEEE 802.11 무선랜 물리 및 데이터링크 계층이 포함된 Alternative MAN and PHY (AMP) 기능을 탑재한 Bluetooth 3.0 규격을 비롯하여 현재 사물인터넷 시장에서 높은 관심을 받고 있는 LE 기능이 탑재된 4.0 기술이 2012년에 발표되었고, 일부 추가적인 기능이 개선된 4.1 버전과 4.2 버전이 출시되었다. 또한 2016년 12월에 발표된 Bluetooth 5.0 기술은 LE의 전송 거리를 4배 증가시키고 전송 속도를 2배 향상시켰다. 하지만, 최근까지 발표된 표준은 대부분 LE 기술의 진보에 집중되어 있으며, BR/EDR 기술은 기존 2.1 버전에서 크게 진보되지 못하고 있다.

이와 같은 환경에서도 실제 사용자 관점에서 활용되어지는 Bluetooth는 아직까지도 오디오 장치와 HID가 대부분이며 이들은 여전히 BR/EDR 기술을 활용하고 있다. BR/EDR 기술은 pairing 절차에 의하여 접속된 장치만 데이터를 송수신 할 수 있는 환경을 가정하고 있으며, SCO (Synchronous Connection Oriented) 채널을 통해 frequency hopping 패턴을 실시간으로 동기화하여 데이터를 전달하는 방식을 사용하고 있다. 이러한 방식은 실시간 데이터 전달에 용이하도록 전송 신뢰성 보다는 지연시간 축소에 초점이 맞춰져 있지만, 반드시 pairing 절차를 수행해야 하는 단점이 존재한다.

이와 같은 방식은 연속적으로 데이터 송신이 발생하는 무선 오디오 장치와 HID에 적합하도록 설계되어 있다. 하지만 장시간 유휴시간이 발생하는 HID의 경우 에너지 효율을 위하여 장치 자체적으로 접속을 종료해야 하며, 이후 사용자가 HID인 키보드 및 마우스를 사용하기 위하여 키를 누르거나 마우스 포인터를 이동시킬 경우 즉각적인 반응을 보여줄 수 없다. 이러한 문제는 장시간 유휴상태로 진입한 HID가 자신의 배터리 소모를 줄이기 위하여 PC 또는 랩탑 등의 host 장치와 접속을 종료하고 sleep 상태로 진입하기 때문에 발생한다. 이 경우, 해당 HID가 재사용 될 경우 BR/EDR 절차 특성상 pairing 절차를 다시 수행해야 하며, 결국 이러한 pairing 절차로 인하여 즉각적인 반응을 제공하기 어려운 기술적 한계를 보여준다.

2.2 HID의 BR/EDR 재접속 절차 문제

앞서 설명한 바와 같이 현재의 BR/EDR 기술에서는 반드시 pairing을 통한 접속 절차를 수행한 후에 데이터 전송이 허용된다. 즉, state machine 측면에서 장치의 상태는 Standby 상태와 Connected 상태로만 구분되며, pairing이 완료된 장치는 Connected 상태가 되고 접속이 종료된 장치는 Standby 상태로 동작된다.

그림 1은 HID와 host 장치간 Inquiry 및 Paging 절차를 통한 pairing 접속과 유휴 상태에서의 재접속 절차에서 발생하는 지연시간 문제를 나타내었다. 그림 내에서 유휴 상태로 진입한 HID는 pairing된 BD_ADDR, LT_ADDR 등이 없기 때문에, 재접속 시에도 처음부터 다시 pairing 절차를 수행해야 하기 때문에, 첫 접속과 재접속 시간이 동일하다.

Bluetooth 특성 상 특정 장치에서 주어진 시간 동안 데이터 전송이 발생되지 않는 경우, 에너지 효율을 목적으로 접속을 종료시키며, 이러한 이유로 임의의 장치가 데이터를 송신하지 않으면 Standby 상태로 전환되며, 이 경우 다시 pairing 절차를 수행해야만 데이터 전송이 가능해진다.

HID는 사용자가 잠시 사용하지 않는 시간이 발생하며, 이러한 문제로 인하여 빈번한 접속 종료 현상이 발생된다. 이 경우, HID가 재사용 될 때 Bluetooth pairing 절차를 다시 수행해야 한다. 이러한 이유로 인하여, HID가 Bluetooth를 사용할 경우 빈번한 접속 종료가 발생되지만, 재접속에 대하여 특별한 절차가 Bluetooth에 존재하지 않기 때문에, 재접속 시간이 길어질 수 있다.

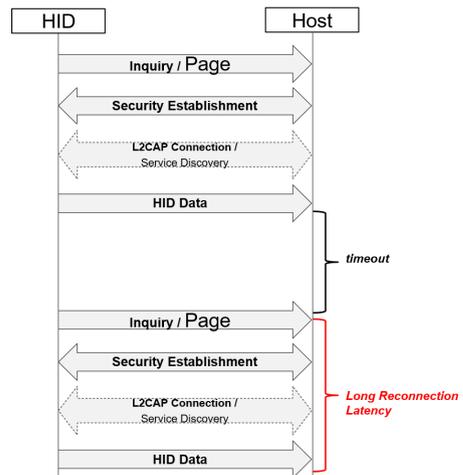


Fig. 1. Reconnection Process of BR/EDR.

III. 제안하는 FPPS 설계사항

3.1 제안 FPPS state Machine

그림 2는 BR/EDR 에서의 state machine을 나타낸다. 이 그림에서는 재접속에 따른 절차가 없으며 모든 장치는 Paging을 통한 Connected state, contention loss로 인한 Standby state로 구분된다.

본 고에서는, 재접속에 대한 빠른 처리를 위하여 그림 2의 오른쪽 그림과 같이 Semi-Connected state와 Suspended state를 새로 추가하였다. 기존 Bluetooth BR/EDR 방식에서는 일정 시간 동안 사용되지 않는 HID가 Standby state 상태로 진입하고, 그 후 다시 사용될 시점에 새로 pairing을 통하여 Connected state 상태로 진입하는데 접속 시간이 긴 문제가 발생하기 때문에, 이를 극복하기 위한 방안이 필요하다.

제안 방식에서는 초기 HID만 Standby 상태에 머무르게 되며, 한 번 접속이 된 HID는 Standby 상태가 아닌 Suspended 상태로 진입하게 된다. Suspended 상태는 Standby 상태와 달리 자신이 할당받은 BD_ADDR과 LT_ADDR를 포함한 접속 이력을 모두 저장하고 있으며, 재접속이 수행될 경우 빠른 pairing을 위한 Semi-Connected 상태에 진입한 후, 지속적으로 사용이 요구될 경우에 한하여 Connected 상태로 진입하게 된다.

Semi-Connected state는 기존 Bluetooth BR/EDR에서의 Standby와 Connected 상태의 중간 단계를 의미하며, 짧은 이벤트성 데이터를 빠르게 전달하기 위한 임시적인 state이다. 제안하는 Semi-Connected state로 진입하기 위한 절차로서 본 논문에서 제안하는 FPPS 기법을 다음 장에 정의한다.

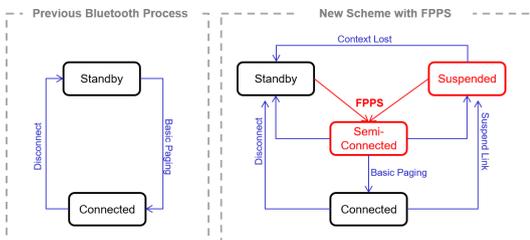


Fig. 2. State Machine between BR/EDR and FPPS.

3.2 제안하는 FPPS 동작 절차

본 절에서는 제안하는 FPPS 방식에서의 HID에 대한 절차를 나타내었다. 이 기법은 유휴 상태인 HID가 자신의 재활성화 상태를 빠르게 host 장치로 알리고, 이때 긴급한 데이터가 발생한 경우 짧은 데이터 전송

까지 모두 송신할 수 있도록 고안되었다.

그림 3와 같이, HID가 일정 시간 동안 사용되지 않는 경우, 해당 장치는 Suspended 상태로 진입하여 자신의 접속 정보를 저장만 한 후 실제 Bluetooth 통신에는 저전력을 목적으로 참여하지 않는다. 이후, HID가 재활성화 되면, 해당 장치는 자신의 활성화 상태를 host 장치로 알리기 위하여 그림 3과 같이 3개의 지정된 RF channel을 통하여 Trigger packet을 송신한다.

Trigger packet은 연속된 Sync Word로 구성되어 있으며, host 장치가 이러한 Sync Word를 감지하여 HID의 활성화 상태를 알게 될 것을 기대한다. 또한 Sync Word는 특정한 패턴의 신호를 나타내며 데이터를 포함하지는 않는다. 이는 대상 host 장치가 Trigger packet의 어느 부분부터 수신하게 될 지 예측할 수 없기 때문이며, host 장치가 이러한 Sync Word를 수신한 경우, HID의 Semi-Connected 동작을 위하여 Beacon packet을 송신한다. 즉, HID는 자신이 연속적으로 송신하는 Sync Word를 host 장치가 수신하기를 기대하며, 이때 host 장치로부터 전달될 Beacon을 수신하기 위하여 Trigger packet 송신 중에 주기적으로 Beacon Scan 구간을 할당한다.

HID는 Trigger 구간과 Beacon Scan 구간으로 구성된 Time Frame을 3개 channel을 대상으로 반복적으로 할당하며, host 장치로부터 Beacon을 수신할 경우 이러한 반복을 중단하고 Semi-Connected 상태에서의 절차를 진행한다.

FPPS를 사용하는 host 장치는 재접속할 HID를 발견하기 위하여 주기적으로 Scan Period를 수행한다. 그림 4에서 Normal Operation은 Bluetooth 특성상

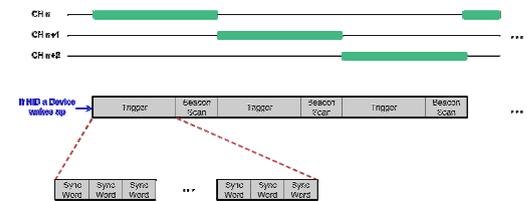


Fig. 3. Time Framework of FPPS for HID Reconnection.

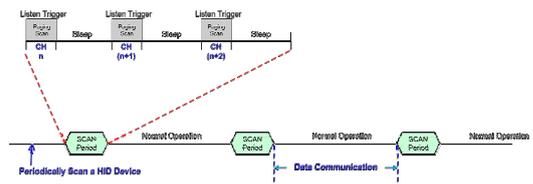


Fig. 4. Time Framework of FPPS for Host.

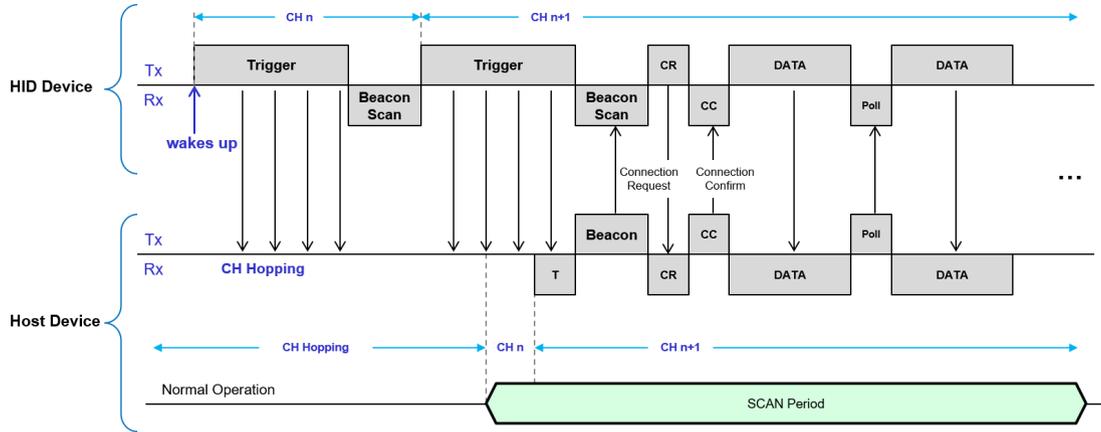


Fig. 5. Process of FPPS: Host Channel Discovery Flow for Fast Paging on Reconnection Condition.

frequency hopping을 수행하기 때문에 재접속을 위하여 할당된 3개의 channel에서 어떠한 수신도 할 수 없다. 따라서 재접속을 시도할 HID의 발견을 위하여 host 장치는 주기적인 Scan Period 구간을 통하여 지정된 3개 channel을 Listen하게 되며, 이때 Trigger packet을 구성하는 Sync Word가 수신될 경우 해당 HID의 접속을 받기 위하여 Beacon을 송신한다.

Scan Period는 3개의 channel을 대상으로 수행하는데, 이때 각 channel에서 머무르는 시간은 Trigger packet을 수신하기 위한 Paging Scan 구간과 Sleep 구간으로 구성한다. 또한 Sleep 구간은 host 장치의 에너지 효율을 목적으로 수행할 수 있으며, 또한 다음 channel로 주파수 설정을 완료하기 위한 시간을 적용시키기 위한 목적으로도 사용할 수 있다.

결국 host 장치는 Scan 구간을 통하여 3개 channel에서 재접속할 HID를 Discovery 하며, 이러한 Scan Period의 Interval 시간이 HID 발견 시간과 밀접하게 연관되기에, 대상 시스템의 특성을 반영하여 Scan Period Interval 시간을 적절히 설정해야 한다.

재접속을 수행하는 HID가 Scan Period를 통하여 host 장치에 탐색될 경우, 해당 HID는 Semi-Connected 상태에 머물 수도 있고 Connected 상태로 진입을 할 수도 있으며, 만약 Connected 상태로 진입할 경우 host 장치의 Normal Operation 구간을 통하여 기존 Bluetooth BR/EDR 방식에 따라 frequency hopping에 의하여 직접 통신을 수행한다.

3.3 제안 FPPS를 위한 Device Discovery

HID와 host 장치의 Semi-Connected 상태 진입에 대한 전반적인 과정은 그림 4에 표현되었다. Suspended 상태의 HID에서 사용자 입력이 발생한 경

우, 해당 장치는 wakeup 된 후 Semi-Connected 상태로 진입하기 위한 Trigger packet을 연속적으로 송신한다. 하지만 host 장치는 주기적인 Scan Period 진입이 이루어지지 않아 해당 channel의 Trigger packet을 수신할 수 없다.

이후 HID는 한 쌍의 Trigger와 Beacon Scan 절차를 거친 후, Beacon이 수신되지 않았기에 이미 정해진 3개 channel 내에서 channel을 변경한 후에 다시 Trigger packet을 연속적으로 송신한다. 이 경우, host 장치는 Scan Period에 진입한 후 CH n 에서 Trigger packet을 수신할 수 없기에 channel을 n+1 로 변경한 후 다시 Trigger packet을 성공적으로 수신하고 이에 대한 Beacon을 송신한다.

이러한 절차가 성공적으로 진행된 경우, 두 장치는 Connection Request 및 Connection Confirm 메시지를 교환한 후 Poll과 data를 교환한다. 물론 이 경우에서도 Active_Mode_Instant 값과 Mode_Counter 값은 존재하며, 이 값들에 의하여 상태를 각각 달리할 수 있다.

3.4 제안 FPPS의 Semi-Connected state

FPPS 방식을 사용하는 HID와 host는 Trigger, Beacon, Connection Request, Connection Confirm 절차를 통하여 Semi-Connected 상태로 진입하며, 이때의 각 메시지별 전달 방향과 정보는 그림 6과 같다. Trigger packet은 Sync Word만 구성되므로 어떠한 데이터도 포함할 수 없으며, Beacon은 HID에게 host의 hopping Sequence를 전달하기 위하여 CLK 정보를 포함시킨다. 이때 빠른 접속을 위하여 LT_ADDR과 BD_ADDR을 같이 전달한다.

Beacon을 수신한 HID는 Semi-Connected 상태 진

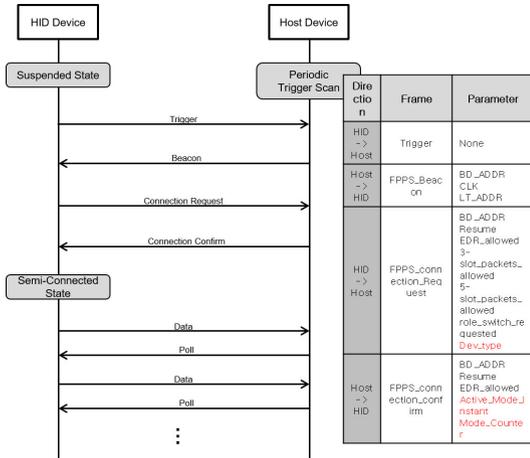


Fig. 6. Parameter Exchanges for Semi-Connected State.

입을 위하여 해당 host에게 Connection Request 메시지를 송신하는데, 이때 HID를 마우스 등의 포인팅 장치와 키보드 등의 버튼 장치로 구분하여 이에 대한 정보를 Connection Request에 포함시킨다.

일반적으로 키보드 등의 버튼 장치는 입력 데이터가 연속적이지 않으며 정보의 크기 또한 작다. 하지만 마우스 등의 포인팅 장치는 사용하는 시간 동안 연속적인 데이터가 끊임없이 발생한다. 이러한 특성으로 인하여, Connection Request를 수신한 host는 대상 HID를 위와 같이 분류하고, Dev Type 별로 구분된 Active_Mode_Instant와 Mode_Counter 값을 Connection Confirm 메시지에 포함시켜 송신한다. Dev Type 별 Active_Mode_Instant와 Mode_Counter 값은 다음 절에서 소개한다.

3.5 HID 유형별 Semi-Connected state 연장

앞서 설명한 바와 같이, HID는 데이터 입력이 연속적이지 않은 키보드 등의 버튼 장치와 데이터 입력이 연속적으로 발생하는 마우스 등의 포인팅 장치로 구분될 수 있다. 본 고에서 제안하는 FPPS 방식은 Bluetooth 장치가 일시적이고 일시적으로 동작하는 Semi-Connected 상태의 사용 효율을 높이기 위하여 각 장치 구분 별로 그림 7과 같이 처리한다.

먼저 키보드와 같은 버튼 장치는 입력 데이터가 불연속적이며 요구되는 데이터가 많지 않고 간헐적으로 발생할 확률이 크기 때문에, Semi-Connected 상태에서 소량의 데이터를 전달하고 Suspended 상태로 진입하도록 유도한다. 하지만, 데이터 발생량과 발생 빈도가 커질 경우 Connected 상태로 진입하여 원활한 데이터 전달을 처리하도록 유도한다.

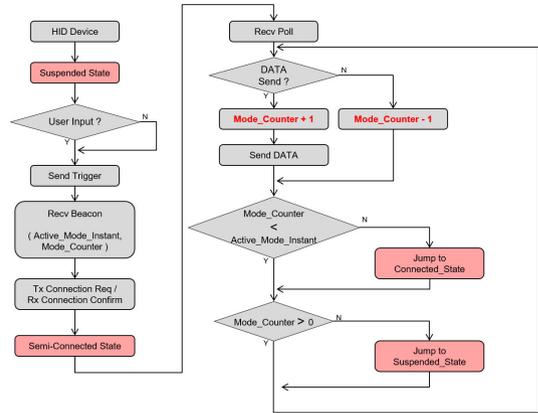


Fig. 7. Suspending Scheme Depending on Device Types on Semi-Connected State.

두 번째로 마우스나 전자펜과 같은 포인팅 장치는 입력 데이터가 연속적이고 데이터량 또한 버튼 장치에 비하여 크기 때문에, Semi-Connected 상태에서 데이터 전달을 최소화하고 빠른 Connected 상태 진입을 유도하여 host 장치의 Semi-Connected 상태에 머무는 시간을 단축시키도록 유도한다.

이와 같은 고려를 위하여 본 논문에서는 HID의 데이터 전달 발생 빈도와 발생량에 따라 처리 방식에 차별화를 둔다. 기본적으로 Semi-Connected 상태는 일시적이고 임시적이며, 이 상태의 지속 시간이 길어질 경우 기존의 Bluetooth 데이터 전송에 대한 지연이 발생할 수 있고 데이터 처리 능력이 제한이 발생하기 때문에, 재접속한 HID의 데이터 발생 빈도가 높을 경우 기존의 Normal Operation을 통하여 frequency hopping 절차에 의한 데이터 송수신을 유도하고, 반대의 경우 Semi-Connected 상태에서의 짧은 데이터 전달을 통하여 Semi-Connected 상태에 머물러 있는 시간을 단축시키도록 한다.

이러한 목적을 위하여, 본 고에서는 Active Mode Instant 및 Mode Counter 변수를 두고 이를 통하여 Semi-Connected 상태에서의 데이터 전송 시간을 조절하는 방안을 다음과 같이 설계하였다. 먼저 Active Mode Instant 값과 Mode Counter 값은 host 장치가 HID에게 초기 Semi-Connected 상태 진입 시 설정한다. 그리고 Mode Counter 값은 host 장치가 HID에게 Poll 메시지를 전달할 때마다 계산되며, HID가 Semi-Connected 상태에서 송신을 할 경우 Mode Counter 값을 1 증가시킨다. 또한 HID가 Semi-Connected 상태에서 데이터 송신을 하지 않을 경우, Mode Counter 값을 1 감소시킨다.

한편 Active Mode Instant 값은 초기 host 장치가 정의한 이후 동일 Semi-Connected 상태 내에서는 변경되지 않는다. 만약 HID의 데이터 전달 빈도가 상층하여 Mode Counter 값이 Active Mode Instant 값이 상이 될 경우, 해당 HID는 Beacon packet에 포함된 host의 clock 정보를 기준으로 Semi-Connected 상태에서 Connected 상태로 변경되며 향후 데이터 전송은 Connected 상태에서 host 장치의 frequency hopping을 따르며 데이터를 전달한다.

또한 HID의 데이터 전달 빈도가 하락하여 Mode Counter 값이 0과 같거나 또는 그 이하일 경우, 해당 HID는 더 이상 데이터를 송신하지 않는다고 가정하고 Suspended 상태로 진입하여 Semi-Connected 상태를 종료한다. 만약 Mode Counter 값이 0보다 크고 Active Mode Instant 값보다 작을 경우, 해당 HID와 host 장치는 Semi-Connected 상태를 유지한다.

또한 HID의 구분을 정의하는 Dev Type 별로 Active Mode Instant 값과 Mode Counter 값을 다음과 같이 정의하여 요구 조건을 만족시킨다. 우선, HID의 Dev Type이 버튼 장치일 경우, 해당 장치는 데이터 전송 빈도가 매우 낮을 확률이 크기 때문에, host 장치는 해당 HID의 Mode Counter 값을 Active Mode Instant 값의 절반 수준으로 설정하여, 해당 HID가 짧은 시간 동안의 입력 데이터만 전달한 후 Suspended 상태로 진입하도록 유도한다. 두 번째로, HID의 Dev Type이 포인팅 장치일 경우, 해당 장치는 데이터 발생 빈도가 연속적이고 높을 확률이 크기 때문에, host 장치는 해당 HID의 Mode Counter 값을 Active Mode Instant 값과 동일하게 설정하여, 해당 HID가 곧 바로 Connected 상태로 진입하도록 유도한다.

그림 8은 HID가 Semi-Connected 상태로 진입한 후, Dev Type에 따라서 각각 차별화된 Active_Mode_Instant 값과 Mode_Counter 값을 부여하고 이에 따른 동작을 나타낸다.

우선 HID는 Trigger, Beacon, Connection Request 단계를 거쳐 Connection Confirm 메시지 전달까지 완료된 후에 Semi-Connected 상태로 진입하며, 이 때의 데이터는 host에서 발생시키는 Poll packet에 의하여 전달된다.

Dev Type은 Trigger packet 내에 포함시킬 수 없기 때문에, HID에서 host 장치로 정보를 전달할 수 있는 가장 첫 메시지인 Connection Request 메시지에 포함시킨다. 이때, Dev Type을 수신한 host 장치는 HID의 Dev Type에 따라 Active Mode Instant 값과

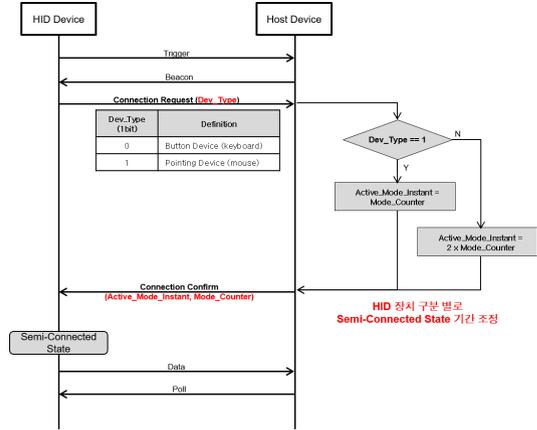


Fig. 8. Mode Counter Management depending on Device Types for Suspending Semi-Connected State.

Mode Counter 값을 설정하고, 이 값들을 Connection Confirm 메시지에 포함시켜 HID로 전달한다. 이를 수신한 HID는 전달받은 Active Mode Instant 값과 Mode Counter 값을 기준으로 Semi-Connected 상태에서 동작할 수도 있으며, 또는 Connected 상태로 즉시 진입할 수 있다.

IV. 성능 평가

본 고는 Bluetooth BR/EDR 환경에서 HID의 재접속 지연 문제를 개선하는데 목적을 두었으며, 제안 기법인 FPPS는 장시간 유휴 상태로 진입한 HID가 Paging 절차 이전에 짧은 시간 이내에 데이터를 host로 전달하기 위하여 Semi-Connected state를 새로 생성하고 이에 대한 데이터링크 계층 처리 절차를 정의하여 설계되었다.

FPPS 성능을 평가하기 위하여 본 절에서는 성능 실험을 환경과 실험 결과의 분석을 기술한다. 일반적으로 Bluetooth 성능 실험은 TI CC2650^[10] 등의 개발 보드를 활용하지만, 본 고에서 제안하는 FPPS 기법은 BR/EDR의 Core 설계의 많은 부분 수정이 요구되며 보편적인 Bluetooth Chipset을 활용할 경우 Chipset 내부 로직을 변경할 수 없다. 따라서 본 실험은 NS-2^[11] 내부에 포함된 Bluetooth BR/EDR 모듈을 수정하여 시뮬레이션 형태로 진행하였으며, 실험 내의 모든 장치는 BR/EDR의 1021 byte를 실험 환경에서 주어진 시간마다 한 번씩 전송하는 형태로 총 100회 결과의 평균 결과를 도출하였다. 또한 실험 주파수는 BR/EDR 고유의 2.4GHz 대역을 사용하고 frequency hopping 패턴 역시 BR/EDR 고유의 79개 channel을

대상으로 625usec마다 hopping 하는 형태를 유지하였으며, 전송 출력은 근거리 실험이기에 BR/EDR 표준 규격에서 정의되는 4dBm(Class 2)으로 설정하였다.

그림 9는 HID 수 증가에 따른 평균 재접속 지연 시간을 나타내었다. 우선 BR/EDR 및 FPPS 모두 장치 수의 현실적인 수 증가에 따른 지연시간 증가는 크지 않으며, BR/EDR의 경우 평균적으로 400msec에 근사한 지연 시간 결과를 보였다. 이는 HID를 사용하려는 환경에서 다소 반응속도에 불편함을 느낄 수 있으며, HID가 에너지 효율을 위해 빈번한 유휴 상태로 진입할 경우 사용자 환경의 Usability는 매우 악화될 수 있다.

이러한 재접속 지연은 host 장치의 channel을 찾는 Discovery 절차와 Paging으로 구성될 수 있다. 보편적으로 BR/EDR의 접속 지연시간은 20msec로 알려져 있지만, 이는 대상 장치의 channel에 대한 Discovery가 완료된 상태를 가정하기에 79개의 channel에 대한 Discovery 지연 문제는 해결이 필요하다. 또한 baseband 관점의 재접속이 완료된 후에도 Role Change와 상위 프로토콜 관점의 접속 절차 또한 이루어져야 하기 때문에 결과적으로 그림 9와 같은 높은 재접속 지연시간이 소요된다.

반면, FPPS의 경우 평균 100msec 이하의 HID 재접속 지연 시간이 측정되었으며, 이는 제안하는 FPPS 방식이 재접속을 위한 Discovery channel을 따로 설정하고 주기적 Discovery를 수행하기에 baseband 측면에서의 재접속 지연시간을 크게 개선할 수 있다는 점을 나타낸다. 또한 제안된 FPPS는 Semi-Connected state에서의 channel 점유율을 효율적으로 관리하기 위하여 HID 유형별 Connect state로 변경되는 시점을

동적으로 운영하였으며 이는 사용자 관점의 Usability를 개선할 수 있다.

그림 10은 host 장치에 임의의 오디오 장치를 SCO channel로 연결한 후 SCO 데이터 트래픽 증가에 따른 HID의 재접속 지연 시간을 나타낸다.

트래픽이 높지 않은 환경에서는 전반적으로 BR/EDR 및 FPPS 모두 그림 9의 결과와 차이가 발생되지 않았다. 하지만 BR/EDR에서 높은 트래픽에도 재접속 지연의 차이가 크지 않은 점과 달리, FPPS 방식에서는 높은 트래픽에서 재접속 지연의 차이가 발생하였다.

이는 제안하는 FPPS 방식이 기존 SCO 데이터 송수신과 병행하여 host 장치의 channel을 짧은 주기로 검색하기에 발생하는 문제이지만, 높은 트래픽 환경에서 악화된 FPPS 역시 BR/EDR 대비 재접속 지연이 크지 않는 것으로 나타났다. 또한 초당 2800 패킷 이상의 경우 FPPS 재접속 지연이 기존 BR/EDR 대비 높은 결과를 보이지만, BR/EDR 데이터 속도인 2~3Mbps를 고려할 경우 현실적인 속도 범위를 초과한 환경이기에 실제 환경에서 나타날 수 없는 결과로 예측된다.

예를 들어 EDR 전송 모드를 사용할 경우 데이터 전송 속도는 3Mbps이며, 이를 EDR 모드의 패킷당 최대 데이터 크기인 255byte를 사용하는 환경을 가정할 경우 총당 1470 패킷이 발생한다. 이러한 환경에서 기존 EDR의 경우 489msec의 지연시간이 관찰되는 반면, 제안하는 FPPS 기법에서는 221msec의 결과가 나타났다. 즉, 현실적인 사용 환경에서 최대 트래픽이 발생하는 가정에서도 제안 기법이 기존 BR/EDR 대비 절반 미만의 지연시간 감소 효과를 보였다.

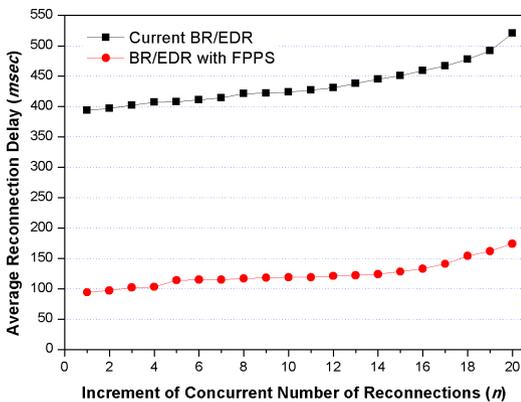


Fig. 9. Results of Average Reconnection Delays with Various Numbers of Concurrent Reconnection Devices.

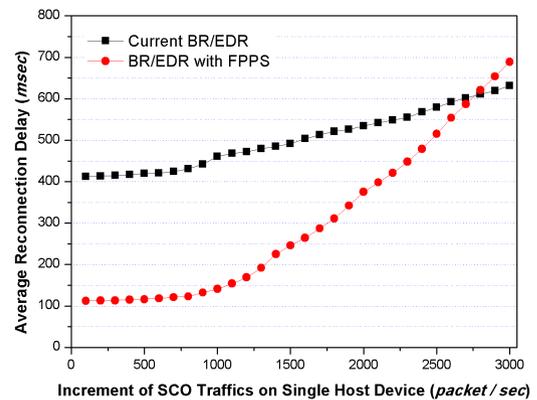


Fig. 10. Results of Average Reconnection Delays with Various Numbers of SCO Traffic Amount on Host Device.

V. 결 론

본 고에서 제안한 FPPS 기법은 Bluetooth BR/EDR의 baseband 재접속 지연을 줄이기 위해 설계된 기술로써, Semi-Connected state 도입을 통해 기존 BR/EDR 환경에서 장시간 유휴 상태로 진입한 HID의 재접속 지연 시간을 크게 개선하였다. 이 방식은 향후 Bluetooth 키보드 및 마우스 장치의 사용자 관점의 편의성을 크게 개선할 수 있을 것으로 예상되기에 기술적 가치가 높을 것으로 판단된다. 하지만 Device Discovery 문제는 frequency hopping 방식을 도입하는 Bluetooth 기술에서는 공통적인 단점이 될 수 있으며, 향후 BR/EDR 이외에도 LE 기술의 지연 시간 개선을 위하여 본 연구를 지속할 예정이다.

References

- [1] I. Akyildiz, et al., "A survey on sensor networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] Bluetooth Special Interest Group (SIG), <https://Bluetooth.org>
- [3] BR/EDR Controller Volume, Bluetooth Core Specification v2.1, Bluetooth SIG, Jun. 2007.
- [4] Low Energy Controller Volume, Bluetooth Core Specification v4.0, Bluetooth SIG, Jun. 2010
- [5] Low Energy Controller Volume, Bluetooth Core Specification 5.0, Bluetooth SIG, Dec. 2016
- [6] J. Tosi, et al., "Performance evaluation of bluetooth low energy: A systematic review," *Sensors*, vol. 17, no. 12, pp. 1-34, 2017.
- [7] J.-S. Lee, Y.-W. Su, and C.-C. Shen, "A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi," *IEEE IECON*, pp. 46-51, 2007.
- [8] K. Cho, et al., "Analysis of latency performance of bluetooth low energy (BLE) networks," *Sensors*, vol. 15, no. 1, pp. 59-78, 2014.
- [9] IEEE, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks, Part 15.4, *Low-Rate Wireless Personal Area Networks*, Sept. 2011.

- [10] CC2650 SimpleLink™ Multistandard Wireless MCU, <http://www.ti.com>, Jul. 2016.
- [11] The Network Simulator (NS-2), <https://www.isi.edu/nsnam/ns/>

이 재 호 (Jaeho Lee)



2005년 : 고려대학교 전자컴퓨터 공학과 석사

2008년~2013년 : 고려대학교 전 기전전자전파공학과 박사

2011년~2013년 : 서일대학교 겸 임교수

2013년~2015년 : LG전자 차세대
대표준연구소 선임연구원

2015년~현재 : 서원대학교 정보통신공학과 조교수
<관심분야> WPAN, 센서네트워크, MANET, MAC, WBAN, Bluetooth, Wi-Fi, ITS, Localization