

Bluetooth HID Pre-paging 단계에서 전송 충돌 회피를 위한 동적 채널스캔 방안

이 재 호*

Dynamic Channel Scan Scheme to Avoid Transmission Collision in Bluetooth HID Pre-Paging Process

Jaeho Lee*

요 약

Human Input Device(HID)는 사용 환경 특성상 대기상태에 머무는 시간 비중이 크고, Bluetooth 기술을 활용하는 장치의 경우 Idle 상태에서 Active 상태로 전환되는 시간이 상대적으로 길다. 이러한 제약은 사용자 관점에서 다소 불편함을 발생시키며, 기존 Fast Pre-Paging Scheme(FPPS) 연구에서 이를 해결하기 위한 재접속 지연시간 개선 방안을 제안하였다. 하지만 FPPS 기법은 Semi-Connected 상태에서 데이터 전송을 위한 Trigger 신호를 송신하고 접속을 시도하는 방안으로써, 다수의 장치가 Semi-Connected 상태에서 접속을 대기할 경우 Trigger 신호의 충돌을 발생시킬 수 있다. 이러한 문제는 일반적인 HID 환경이 키보드와 마우스 등 복수의 장치로 구성되기 때문에 충돌 문제가 빈번하게 발생될 수 있다. 본 고는 이에 대한 해결책으로 복수의 HID가 FPPS를 활용하는 환경에서의 전송 충돌을 회피하고 Semi-Connected 채널을 동적으로 할당하는 방안을 제시하며, 이에 대한 객관적 성능을 시뮬레이션 기반의 실험을 통해 입증하였다.

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

ABSTRACT

Under the characteristics of Human Input Device (HID), the devices tend to hold the idle status, and the transaction delay can be long if they employ Bluetooth technology. this limitation can aggravate convenience of user viewpoint so previous research called Fast Pre-Paging Scheme (FPPS) presented a solution to address this problem by designing to reduce reconnection delay of HID. However, this scheme makes the slave device to try to subsequently reconnect to the corresponding master device by sending Trigger signal for data transmission in Semi-Connected status. Hence, the transmission collision can be incurred where multiple slaves concurrently transmit Trigger signal in Semi-Connected status. this problem can become probably frequent because general use-case of HID would be composed of multiple devices such as keyboard and mouse. This paper proposes an appropriate solution to avoid transmission collision from the environment of multiple HID using FPPS, and also proposes adaptive channel assignment scheme. The objective performance results would be showed by simulation-based experiments.

* First Author : (ORCID:0000-0003-0455-9939)Seowon University, Department of Information and Communications Engineering, izeho@seowon.ac.kr, 정회원
논문번호 : 201806-B-041-RN, Received June 13, 2018; Revised July 31, 2018; Accepted July 31, 2018

I. 서론

사물인터넷 기술의 시장 활성화가 본격적으로 진행됨과 함께 Bluetooth 기술은 기존 무선 오디오 전송 기술의 사용 환경 제약을 탈피하여 센서를 활용한 저전력 데이터 통신과 비콘 기반 위치 서비스, 장치간 파일 공유, 자동차 실내 편의 장치간 통신 서비스 등 다양한 영역으로 사용 환경을 확장시키고 있다.

Bluetooth 기술은 Bluetooth Special Interest Group (SIG)^[1] 표준 단체에서 개발한 근거리 저전력 통신 기술이며, 전통적인 Bluetooth 기술과 Bluetooth 4.0 이후에 새로 탄생된 Bluetooth Low Energy (LE)^[2] 방식으로 구분되고, 2016년 12월에 출시된 Bluetooth 5.0^[3] 기술을 중심으로 Bluetooth LE의 전송 속도와 통신거리 확장 및 비콘 기능 강화를 위한 Advertising Extension 기능이 추가되었다. 이러한 Bluetooth LE 기술은 코인셀 배터리를 활용하여 6개월 이상의 운영 시간을 실현시킬 수 있는 초저전력 통신 기능을 제공하며, 현재 인체 등에 부착되는 소형 센서와 스마트워치 등의 사용 환경과 Bluetooth 비콘 장치에 활용되고 있다. 이러한 기술은 과거 센서 네트워크^[4-6] 기술보다 향상된 성능을 보여주기 때문에 최근 사물인터넷 시장에서 널리 요구되고 있다.

한편, Bluetooth LE 이외에 전통적인 Bluetooth 기술은 주로 기존 오디오 장치와 HID 등을 위한 동기식 통신 방식인 Synchronous Connection Oriented (SCO) 채널을 기반으로 현재까지도 무선 헤드폰과 키보드 및 마우스 등에 채용되어 널리 상용화 되어 있으며, 파일전송 등의 환경을 위한 Asynchronous Connection-oriented Logical transport (ACL) 채널도 제공하고 있다. 본 통신 기술은 전송 속도에 따라 2Mbps를 지원하는 Basic Rate (BR) 방식과 3Mbps를 지원하는 Enhanced Data Rate (EDR) 방식으로 구분된다.

최근 사물인터넷 시장의 활성화로 인하여 Bluetooth SIG는 Bluetooth 2.1 이후로 대부분 Bluetooth LE 기술 개발에 중점을 두고 표준 기술 개발을 진행하고 있으며, 기존 Bluetooth BR/EDR 방식에 대해서는 보안성 강화 등 소수 기능을 제외하고는 과거 Bluetooth 2.1에서 발표된 EDR 이후로 변경되고 있는 기술이 미진하다. 하지만, 현재 대부분의 Bluetooth 장치는 무선 오디오 시장과 HID 시장의 점유율이 여전히 높은 상태이며, 따라서 성능 개선을 위한 기술 개발 역시 높게 요구되고 있다.

이와 같은 관점에서 Bluetooth BR/EDR 방식의 요

구 개선 사항 중 시급한 부분이 재접속 속도 개선 문제이다. Bluetooth HID의 경우 사용자가 키보드 등의 장치에 일정 시간 이상 입력하지 않은 경우 HID는 에너지 효율을 위해 저전력 대기 상태로 진입하게 되는데, 이때 사용자가 다시 입력할 경우 다소 긴 재접속 시간 때문에 사용자 관점에서 늦게 입력되는 현상으로 체감될 수 있다.

이러한 문제는 Bluetooth BR/EDR 특성 상 Paging 절차를 다시 수행해야 하는 현상으로 발생되며, 이를 해결하기 위해 기존 FPPS^[7] 방식은 Semi-Connected state 단계를 새롭게 제안하고 이를 활용하여 HID 재접속 대기 시간을 크게 단축시켰다. 이 방식은 대기 상태에 진입한 HID가 Paging 단계로 진입하기 전에 즉각적인 데이터 전송을 허용함으로써 사용자 관점에서의 입력 지연 문제를 해결하였다.

하지만, 일반적인 HID 사용자 환경에서는 대부분 키보드와 마우스가 동시에 사용되거나 또는 동시에 대기상태로 진입하게 된다. 이 경우, Semi-Connected 상태로 진입한 두 HID는 동일한 Master 장치인 PC 등의 Host를 대상으로 Trigger 신호를 송신하게 되며, 따라서 두 장치 모두 동시에 FPPS를 수행함으로써 전송 충돌 문제가 발생할 수 있다. 이러한 현상은 HID의 수가 높아질수록 문제가 악화될 수 있다.

따라서 본고는 Slave 장치로서 Semi-Connected 상태에 진입한 복수의 HID가 전송하는 Trigger 신호 충돌을 회피할 수 있는 방안을 제시하고자 하며, 넓은 관점에서 FPPS 수행 채널을 동적으로 할당함으로써 효율적인 FPPS 운영을 지원하고자 한다.

II. 연구 배경

FPPS 기술은 기존 Bluetooth BR/EDR 방식에서 자주 사용되는 장치에 대하여 대기 상태에서 Connected 상태로 변경되기 이전에 Semi-Connected 상태를 추가하고, 이 상태에서 일부 데이터 전송을 허용하는 방식이다. 이러한 방식을 활용함으로써 대기

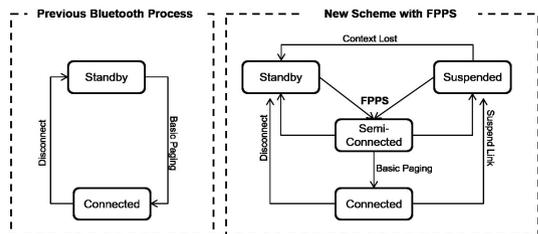


Fig. 1. State Machine between BR/EDR and FPPS [7].

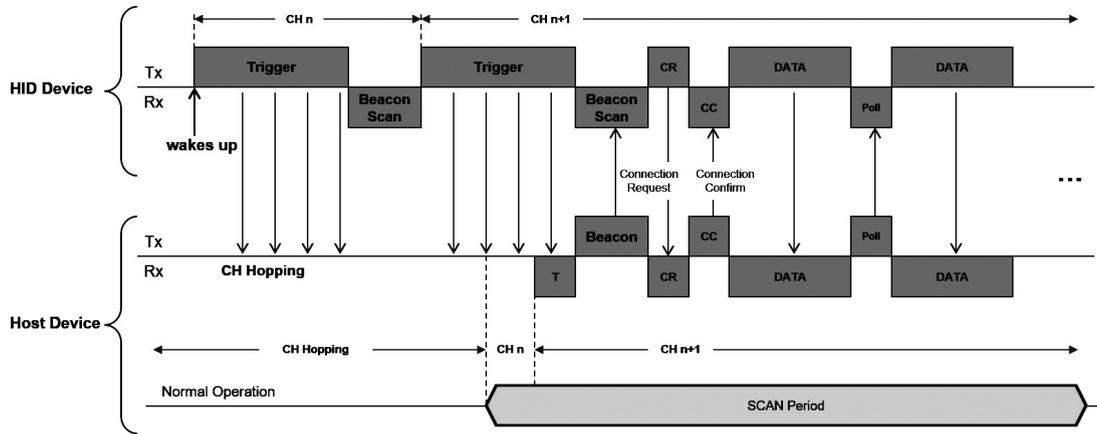


Fig. 2. Host Channel Discovery Flow for Fast Paging on Reconnection Condition in FPPS [7].

상태의 HID에서 정상적인 접속 이전에 일부 데이터를 전달하여 사용자 관점에서의 반응시간 개선을 제공할 수 있으며, 그림 1과 같이 Semi-Connected 상태에서 Connected 상태로 변경됨에 따라 기존 Bluetooth BR/EDR 방식을 그대로 수용할 수 있다는 장점을 지닌다.

그림 2는 FPPS 방식에서 데이터 전송 과정을 나타내었다. 일정 시간 사용되지 않아 Semi-Connected 상태로 진입한 HID는 대기 상태와 같이 자신의 에너지 소모량을 최소화하기 위하여 데이터 수신을 하지 않으며, 사용자가 장치를 사용할 경우 (키보드 버튼을 누르거나 마우스를 사용할 경우) 즉시 Trigger 신호를 대상 Host 장치에게 전송한다. Host 장치는 Trigger 신호를 수신한 후 데이터 수신 허용을 알리기 위한 Beacon 신호를 송신하며, 이후 접속 요청과 허용 패킷을 교환한 후 HID는 Semi-Connected 상태에서 데이터를 송신할 수 있다.

따라서, HID는 기존 대기 상태에서 새롭게 Paging 절차를 수행한 후 데이터 전송을 수행하는 기존 Bluetooth BR/EDR 방식과 달리, Semi-Connected 상태에서 자신의 에너지 효율을 위하여 어떠한 데이터 수신도 수행하지 않으며, 재사용 시점에서는 기존 Paging 방식 대비 간소화된 절차를 통해 데이터를 전달할 수 있다. 물론 이 경우 HID가 사용되지 않은 환경에서 기존 대기상태 대비 에너지 사용량이 높아질 수 있지만, Semi-Connected 상태에서의 HID는 단지 Frequency Hopping 패턴에 의하여 주파수 이동만 진행할 뿐 데이터 송수신을 수행하지 않기 때문에 추가되는 에너지 사용량은 적다.

하지만 앞 장에서 서술한 바와 같이, HID가 복수로

존재할 경우 동일 사용 환경이라는 특성 상 Trigger 신호의 충돌이 발생할 수 있으며, 이와 같은 문제에 대한 해결을 본 고의 목적으로 설정하였다.

III. FPPS 채널 충돌 회피 방안

3.1 다중 HID 동시 접속에 의한 충돌 회피 방안

앞 장에서 서술한 바와 같이, FPPS 사용 환경은 대부분 복수의 HID로 구성되어 있기 때문에 재사용 이벤트 역시 동시에 발생할 확률이 크다. 따라서 복수의 HID로부터 Semi-Connected 상태에서의 중복 Trigger 신호로 인한 전송 충돌이 불가피하게 발생할 수 있으며, 이에 대한 고려가 요구된다.

그림 3은 Trigger 신호의 충돌을 HID에서 파악할 수 있는 방안에 대하여 2가지 형태의 방법을 나타내었다. 먼저 HID가 Trigger 신호를 송신하기 이전에 채널 상태를 파악할 경우, 각 HID는 자신보다 먼저 Trigger 신호를 송신하는 장치가 있을 경우 Trigger를 송신하지 않는 방법으로써 CSMA/CA와 유사한 방식으로 운영될 수 있다. 이때, 만약 Host 장치의 Bluetooth 기능을 일시적으로 차단한 상태에서 둘 이상의 HID가 재접속을 시도할 경우, 복수의 HID는 Host 장치의 Beacon 신호를 수신할 때 까지 지속적으로 Trigger 신호를 송신하게 된다. 이 경우 Host 장치가 Bluetooth 기능을 활성화시킨 이후 두 HID는 매우 긴 시간 동안 재접속을 성공하지 못할 수 있다.

만약, 두 HID의 Beacon Scan 구간이 겹치지 않는다면 Host 장치는 항상 Trigger 신호를 수신하게 되며, Host 장치가 임의의 HID에게 Beacon을 송신할 경우 또 다른 HID의 Trigger 신호로 인하여 충돌이

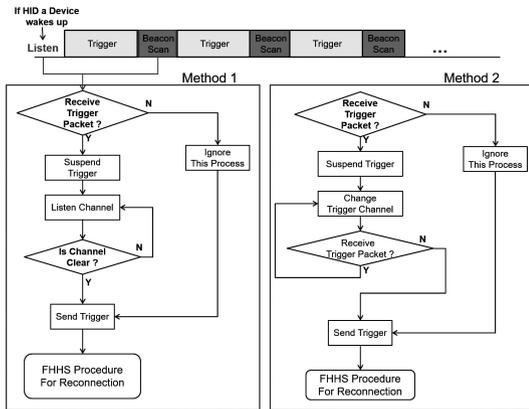


Fig. 3. Collision Avoidance Process from Multiple Trigger Signal Environment.

발생될 수 있다. 또한 두 HID의 Beacon Scan 구간이 중첩될 경우 Host 장치가 송신하는 Beacon은 충돌이 발생하지 않지만, 이 때의 Host 장치는 두 HID의 간섭된 Trigger 신호를 수신하기 때문에 송신 HID를 판단할 수 없다.

따라서 그림 3의 왼쪽에 나타낸 바와 같이, 재접속을 수행할 HID는 초기 Trigger 신호를 송신하기 전에 먼저 매우 짧은 시간 동안 Listen 절차를 수행한다. 만약 이때 Trigger 신호가 수신되지 않는다면, 기존의 FPPS를 통한 재접속 절차를 그대로 수행한다. 만약 Trigger 신호가 수신될 경우에는 또 다른 HID가 재접속을 수행하고 있다고 판단하고 Trigger 신호를 송신하지 않는다. 본 과정은 재접속 과정의 시작 시점을 포함하여 Beacon Scan 구간에서도 활용할 수 있다.

두 번째 방안은 Channel 변경을 통하여 해결하는 방법이다. 그림 3의 오른쪽에 나타낸 바와 같이, 재접속을 수행할 HID는 Trigger 신호를 송신하기 전에 먼저 매우 짧은 시간 동안 Listen을 수행한다. 본 방안은 Trigger 신호가 수신되지 않는다면 기존의 FPPS를 통한 재접속 절차를 그대로 수행하고, 그렇지 않을 경우 Trigger Packet을 송신을 중단하는 관점에서 앞서 설명된 방안과 동일하다. 하지만, 이후 HID는 3개로 구성되는 Trigger 채널을 변경하고, 또 다시 Trigger 신호가 수신되는지 판단할 수 있다는 점에서 차별적인 요소가 존재한다.

3.2 충돌 인지를 위한 Scan Point

FPPS 기법에서 빠른 재접속을 시도하려는 모든 HID는 Beacon Scan 구간에서 Host 장치로부터 Beacon을 수신할 때 까지 연속된 Trigger 신호를 지속적으로 송신하기 때문에, 만약 2개 이상의 HID가

재접속을 시도할 경우 Trigger 신호의 중첩으로 인하여 Beacon 수신 구간에서의 정확한 Beacon을 성공적으로 수신하기 어렵다. 또한 FPPS 특성 상 Beacon을 성공적으로 수신할 때 까지 모든 HID는 Trigger 신호를 송신하기 때문에, 문제의 상황이 지속될 수 있다.

FPPS에서 설계된 Trigger 구간은 빠른 재접속을 위하여 Beacon Scan 구간에 비해 상대적으로 매우 크게 할당될 수 있으며, 이러한 이유로 인하여 Beacon Scan 구간에서의 성공적인 Data 수신 확률은 매우 희박해질 수 있다. FPPS 환경에서는 일반적으로 단일 HID가 빠르게 재접속 과정을 수행하기 때문에, 장치가 순차적으로 접근될 때에는 문제가 되지 않는다.

하지만, 키보드와 마우스 등의 use-case에서는, PC 등의 Host 장치가 절전모드로 동작되는 상태에서 사용자가 키보드와 마우스를 동시에 버튼 등을 누를 수 있다. 이 경우에는 그림 4와 같이 위 문제의 상황이 발생될 확률이 존재하며, 키보드와 마우스의 연속적인 Trigger 송신으로 인하여 어떠한 장치도 Beacon을 성공적으로 수신하지 못한 채, 문제의 상황이 지속될 위험이 존재한다.

위 문제를 해결하기 위해서 3.1절에서 제안된 두 가지 기법들은 FPPS 동작에서 장치간 충돌 방지를 위하여 수행되는 기법을 나타내었다. 하지만, 동일 주파수 간섭에 의하여 Beacon을 성공적으로 수신하지 못하는 상황은, 앞 절에서의 문제를 포함하여 Wi-Fi 등의 동일 대역을 사용하는 무선 인터페이스에 의하여 발생할 수도 있다. 따라서 본 절에서는 그림 5에서 명시한 Scan Point에 대하여, HID가 Beacon을 성공적으로 수신하지 못하는 상황을 다음과 같이 두 가지로 구분하고 이에 대한 해결책을 제시한다.

우선 주파수 간섭 요인은 FPPS 내부 간섭과 외부 간섭으로 구분할 수 있다. 내부 간섭은 FPPS를 사용하는 두 장치가 동시에 재접속을 시도할 경우 발생하는 문제 현상을 나타내며, 이 경우 Codeword 탐지로서 해결할 수 있다. Wi-Fi 등과 같이 동일 주파수 대역을 사용하는 외부 무선 인터페이스에 의하여 발생

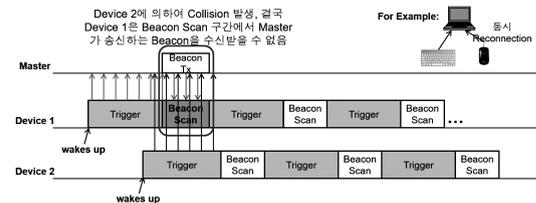


Fig. 4. Example of Collision Condition between Trigger signal and Beacon.

되는 외부 간섭 문제의 경우, 수신 에너지 탐지로써 해결이 가능하다. 또한 위 두 가지의 간섭이 혼합되어 발생할 경우 Codeword 및 수신 에너지 탐지를 혼합하여 활용하는 하이브리드 형태를 적용할 수 있다. 이에 대한 탐지 구간은 그림 5에서 나타낸 바와 같다.

대기 상태에서 해제되어 Host 장치로 재접속을 시도하는 모든 HID는, 자신의 Trigger 신호를 송신하기 전에 Listen Period를 두고 이 구간에서 수신 에너지 또는 Codeword에 대한 탐지를 수행한다. 또한, 재접속을 수행하는 모든 HID는 Host 장치로부터 Beacon을 수신하는 Beacon Period 구간에서, Beacon 수신 이전에 수신 에너지 또는 Codeword에 대한 탐지를 수행한다.

우선, 그림 6과 같은 수신 에너지 탐지 방법은 동일 주파수대역을 사용하는 Wi-Fi 등의 외부 무선 인터페이스로 인하여 외부 간섭이 발생한 경우에 대하여 활용될 수 있다. 이 방법에서는 RF Transceiver에서 측정된 수신 에너지 레벨이 지정된 임계치를 초과할 경우 이를 외부 간섭으로 간주하고 충돌을 회피하는 절차이다. 이러한 수신 에너지 탐지 방법은 복조를 수행하지 않고 단지 측정된 신호 세기만을 비교하기 때문에 Correlation 등의 복잡한 연산을 할 필요가 없으며, 따라서 일반적인 데이터 수신에 비하여 에너지 소모량이 월등히 적다는 장점이 있다. 따라서 Codeword를 비교하는 방법에 비하여 에너지 효율이 높지만, 발생된 간섭의 근원지를 알 수 없다는 단점이 있기 때문에 외부 간섭이 발생되었다는 전제 하에서 사용한다.

그림 7과 같은 Codeword 탐지 방법은 키보드와 마우스 등의 동시 재접속 수행 시에 발생할 수 있는 내

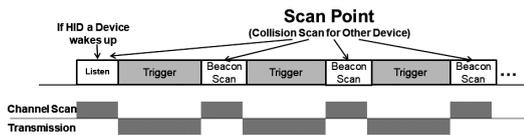


Fig. 5. Scan Point in Semi-Connected state to Avoid Collision.

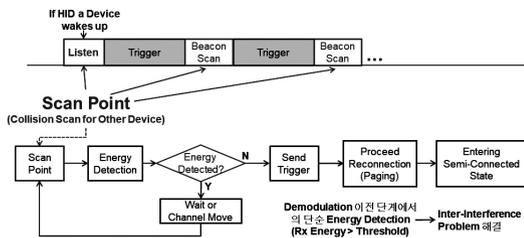


Fig. 6. Energy Detection for Scan Point in Semi-Connected state to Avoid Collision.

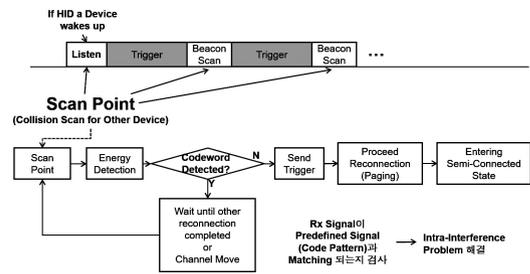


Fig. 7. Codeword Detection for Scan Point in Semi-Connected state to Avoid Collision.

부 간섭에 대하여 사용한다. 이 방법에서는 수신된 패킷의 Code 패턴과 이미 정해진 Codeword와의 비교를 통하여 내부 간섭 여부를 판단하는 형태로 진행된다. 이때 수신된 패턴이 내부 간섭으로 간주될 경우, 이로 인한 충돌을 회피하는 절차를 수행한다.

Codeword 탐지는 Code 패턴 파악을 위하여 복조 절차를 수행하기 때문에 수신 에너지 탐지 방법에 비하여 에너지 소모가 높지만, Codeword 자체가 공통된 패턴의 중복으로 구성되기 때문에 복조 단계의 절차가 매우 간단하며 일반적인 데이터 수신 대비 에너지 소모는 적다. 이 방안은 FPPS의 Semi-Connected 상태에서 복수의 HID가 동시 재접속을 시도할 경우 발생하는 무한 반복을 사전에 막기 위하여 사용된다.

그림 8은 수신 에너지 탐지 및 Codeword 탐지 방법을 혼합적으로 사용하는 하이브리드 방안의 1번째 방법으로써, 수신 에너지 탐지를 통하여 외부 간섭을 판단한 후, 간섭으로 파악되지 않을 경우 추가적으로 Codeword 탐지를 통하여 내부 간섭을 파악하는 방안이다. 일반적으로 수신된 데이터의 패턴 매칭 절차는 RF Transceiver에서 측정된 에너지 값이 특정 임계치보다 높을 경우에 수행하지만, 본 방법에서는 Wi-Fi 등의 외부 무선 인터페이스의 송신 파워가 Bluetooth에 비하여 매우 높기 때문에 임계치를 높게 설정한 후 수신 에너지 탐지를 수행한다. 또한 외부 간섭이 발견되지 않았다고 판단될 경우에는 임계치를 보다 낮게 설정한 후 Code 패턴 비교를 통한 Codeword 탐지를

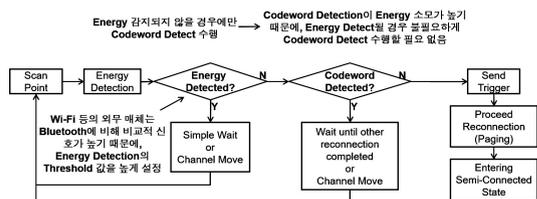


Fig. 8. First Hybrid Scheme for Scan Point in Semi-Connected state to Avoid Collision.

수행하여 내부 간섭 발생 여부를 판단한다.

수신 에너지 탐지 단계와 Codeword 탐지 단계에서 간섭 발생 시 수행되는 절차는 그림 6과 그림 7에서 기술된 내용과 동일하게 수행되지만, 수신 에너지 탐지의 경우에는 단순히 외부 무선 인터페이스로부터 발생된 간섭이기 때문에 간단한 대기 절차를 수행한다. 이때, Codeword 탐지 과정에서의 충돌 회피 절차는 FPPS를 사용하는 다른 HID로 인한 간섭으로 간주될 수 있기 때문에 대상 장치의 재접속 절차가 완료될 때까지 대기한다.

본 방안은 RF Transceiver에서의 임계치를 높은 값과 낮은 값의 차등적 구분을 통하여, 수신 에너지 탐지 및 Codeword 탐지를 순차적으로 진행함으로써 외부 및 내부 간섭을 달리 구분한다. 이에 대한 충돌 회피 절차 역시 다른 방법으로 진행함으로써 두 가지의 충돌 문제를 모두 해결하기 위하여 사용될 수 있다.

그림 9는 내부 간섭과 외부 간섭을 모두 탐지하여 충돌을 회피하는 하이브리드 형태의 두 번째 방법이다. 재접속을 수행하는 모든 HID가 첫 Trigger 신호를 송신하기 전에 Codeword 탐지를 수행하고 이후 모든 Trigger 송신 이전에 수신 에너지 탐지를 수행할 경우, 모든 HID는 동시에 재접속 절차에 진입할 수 없으며 논리적으로 반드시 하나의 HID가 재접속 절차를 완료한 후에 다른 HID가 진입하게 된다.

예를 들어, 만약 HID A가 먼저 재접속 시도 시점에 Trigger 신호를 송신할 경우, 다른 HID B가 재접속을 시도하는 시점에서는 먼저 재접속을 시도 중인 A의 Trigger 신호를 파악하여 자신의 Trigger 송신을 시도하지 않으며, 따라서 Trigger 중복은 방지할 수 있다. 즉, 두 장치가 아무리 빠른 시간 내에 동시 재접속을 수행하더라도, time slot 형태가 아닌 Semi-Connected 구조상 동시 Trigger 송신 확률은 매우 낮다. 따라서 Listen Period에서 내부 간섭 발생 확률 자체를 원천적으로 막을 수 있기 때문에, 재접속 수행 도중에는 오직 외부 간섭으로 인한 충돌만 고려할 수 있다.

본 방법에서의 Beacon Scan 구간에서는 외부 간섭

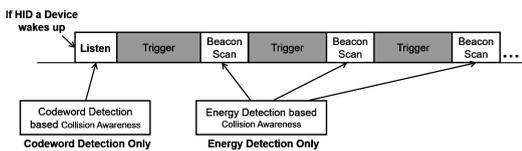


Fig. 9. Second Hybrid Scheme for Scan Point in Semi-Connected state to Avoid Collision.

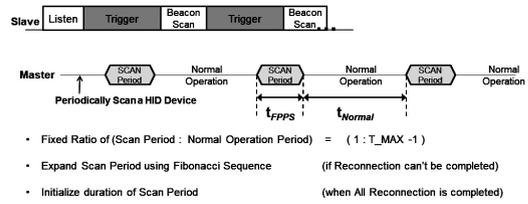


Fig. 10. Adaptive Channel Assignment Algorithm for FPPS.

발생 여부를 파악하기 위한 수신 에너지 탐지 절차만 수행한다. 이때, RF Transceiver에서 측정된 에너지를 파악할 때 대조값으로 사용되는 임계치를 이원화 할 필요가 없으며, 단일 임계치를 통하여 Listen Period 또는 Beacon Scan 구간에 따라 각각 Codeword 탐지 또는 수신 에너지 탐지 절차를 수행한다.

3.3 동적 채널 할당 방안

FPPS 기법은 절전모드 등의 상태에 진입하여 Bluetooth를 장시간 사용하지 않는 HID의 빠른 재접속을 실현시키고, 이를 통해 사용자 편의성을 제공하기 위해 고안되었다. 하지만, Host 장치는 FPPS를 통한 재접속을 시도하는 HID의 유무를 주기적으로 파악해야 할 필요가 있으며, 이를 위하여 본 절에서는 그림 10과 같이 Scan Period와 Normal Operation으로 구분된 Duty Cycle 방식을 적용한다.

Scan Period는 Host 장치에서만 수행되는 구간이며, 크게 할당할수록 HID의 재접속 기회가 높아져 재접속 시간이 단축되는 반면 Normal Operation 구간이 작아지기 때문에 일반적인 Bluetooth 수행에서의 성능이 낮아진다. 반면에, Scan Period를 작게 설정할수록 Bluetooth 성능은 높아지지만 재접속 기회는 낮아지기에 FPPS 수행을 통한 재접속 시간이 길어진다. 본 절에서는 이와 같은 trade-off의 효율성을 제공하기 위하여, 그림 10과 같이 Scan Period 구간과 Normal Operation 구간에 대한 비율을 FPPS 재접속 수행 성공 여부에 따라 동적으로 운영하는 방안을 제안한다.

$$\begin{aligned}
 t_{FPPS,1} &= 1, & t_{FPPS,2} &= 1 \\
 t_{FPPS,n} &< t_{FPPS,MAX} \\
 t_{FPPS,n} &= t_{FPPS,n-1} + t_{FPPS,n-2} & (1) \\
 t_{Normal,1} &= t_{MAX} - t_{FPPS,1} = t_{MAX} - 1 \\
 t_{Normal,n} &= t_{MAX} - t_{FPPS,n}
 \end{aligned}$$

본 절에서는 Scan Period 구간과 Normal Operation 구간을 각각 t_{FPPS} 및 t_{Normal} 형태로 정의하

고, t_{FPPS} 의 초기값을 1로 설정한 후 n 번째 t_{FPPS} 값을 $t_{FPPS,n}$ 형태로 정의한다. 그리고 단일 Scan Period 내에서 FPPS를 통한 재접속 절차가 완료되지 못한 HID가 남아 있는 경우, n 값을 증가시켜 Scan Period 구간을 증가시킨다. n 값이 증가함에 따라 Scan Period는 더욱 증가하게 되고 이에 대한 일반화는 식 (1)과 같이 피보나치 수열을 적용시켜 정의한다. 하지만, Scan Period는 초기 정의된 최대 Duty Cycle 크기를 초과할 수 없기 때문에, Scan Period의 최대값은 $T_{MAX}-1$ 로 제한시킨다.

IV. 성능 평가

본 고는 기존 FPPS 연구에 대하여 복수의 HID가 동시에 Semi-Connected 상태로 진입한 경우 발생할 수 있는 Trigger 신호의 충돌을 회피하기 위하여 제안되었으며, 기존 Bluetooth BR/EDR 기술과 FPPS 기법이 적용된 기술 및 본 고에서 제안하는 Trigger 충돌 회피 방안이 적용된 기술에 대하여 비교 검증하였다. 따라서 모든 실험은 기존 FPPS 연구와 동일한 조건에서 수행되었으며, 충돌 회피를 위한 수신 에너지 탐지 및 Codeword 탐지 방법 등이 Bluetooth Host 영역이 아닌 Controller 영역에 해당되기 때문에 칩셋 영역의 개발이 원활하지 않아 불가피하게 시뮬레이션을 통한 실험으로 진행되었다.

시뮬레이션 환경은 NS-2^[8]를 활용하였고 주파수 환경은 Bluetooth 고유의 동작 밴드인 2.4GHz ISM (Industrial Scientific Medical) 대역을 적용하였다. 또한 RF Transceiver 상세 파라미터는 TI사의 CC2650^[9] 칩셋의 default 값을 적용하였으며, 전송되는 데이터 크기는 BR/EDR payload 크기인 1021 byte를 적용하였다.

Bluetooth BR/EDR에 적용되는 Frequency Hopping 패턴 역시 표준 규격에 정의된 79개의 채널을 대상으로 625 μ sec 간격으로 hopping 되는 형태를 유지하였으며, 네트워크 형태는 Bluetooth BR/EDR의 기본적인 구성인 Piconet으로 정의되되, Master를 실험용 PC 장치로 구성하고 Slave를 키보드와 마우스 등의 HID로 설정하였다. 다만 본 제안 방식의 성능 실험을 위하여 HID 유형은 별도로 구분하지 않았으며, 단지 다수의 HID 재접속에서 발생하는 성능 사항을 확인하기 위하여 기존 Bluetooth BR/EDR 규격에서 제시된 7개의 Slave 제한을 초과하여 실험하였다. 또한 전송 출력은 Bluetooth 표준 규격에 제시된 항목 중 Class 2에 해당되는 4dBm으로 설정하였다.

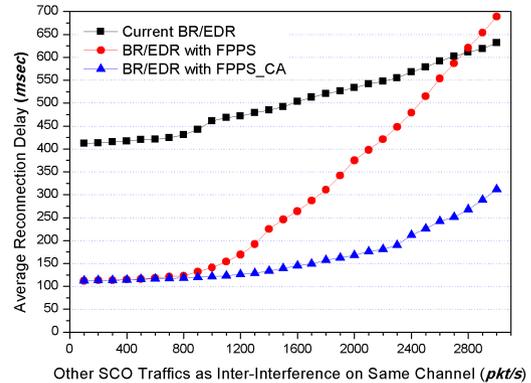


Fig. 11. Results of Average Reconnection Delays according to amount of Interferences (Other SCO Traffics on the Same Channel).

그림 11은 외부 간섭의 크기에 따른 재접속 지연 시간에 대한 결과를 나타낸다. 본 실험에서는 외부 간섭 요인으로서 초기 Wi-Fi 간섭을 고려했지만, 기본적으로 frequency hopping을 수행하는 Bluetooth 특성상 정확한 채널의 간섭 요인으로 적용하기에는 Wi-Fi 인터페이스가 동일 채널을 지속적으로 사용한다는 제한으로 인하여 고려 대상에서 제외하였다. 대신 실험 대상의 Piconet 외부에 또 다른 가상의 Piconet을 생성하고 동일 Frequency Hopping을 적용하여 SCO 데이터를 증가시킴으로써 외부 간섭을 적용하였다.

본 실험 결과에 따라 FPPS 방식이 기존 Bluetooth BR/EDR 대비 재접속 시간이 크게 개선되었음을 파악할 수 있으며, 다만 외부 간섭 요인의 증가에 따라 FPPS 방식의 단점인 간섭에 대한 취약함을 분석할 수 있다. 한편, 본 고에서 제안하는 FPPS 기반의 충돌 회피 방안은 실험 결과 내에서 FPPS_CA (Collision Avoidance)로 표기하였으며, 그림 11에서 나타난 바와 같이 FPPS 기법이 간섭에 대하여 강인해짐을 확인할 수 있다. 이는 수신 에너지 탐지 방법이 HID의 FPPS 수행 환경에 대하여 긍정적인 요인으로 작용할 수 있다고 간주될 수 있다.

그림 12는 내부 간섭에 대한 결과를 파악하기 위한 실험으로써, 동일 Piconet을 구성하는 HID의 동시 재접속 수를 증가시키면서 평균 재접속 지연 시간을 측정하였다. 본 실험을 위하여, 앞서 설명한 바와 같이 기존 Bluetooth 규격에서 명시된 Piconet을 구성할 수 있는 Slave 수를 7에서 20으로 변경하여 실험을 진행하였다. 이는 다수의 HID가 동시에 Semi-Connected 상태에서 Trigger 신호를 송신하는 환경을 구축하기 위하여 임의로 생성된 환경이다.

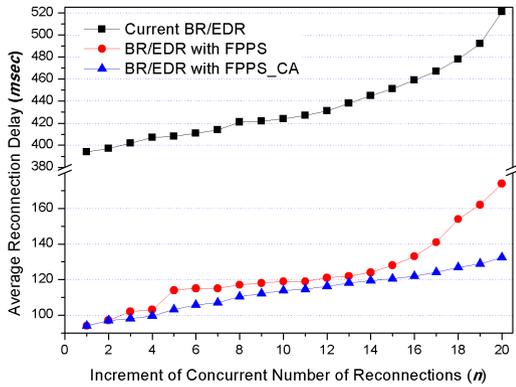


Fig. 12. Results of Average Reconnection Delays according to Number of Concurrent Reconnection of HIDs (Intra-Interferences).

본 실험 결과와 같이 기존 Bluetooth BR/EDR 대비 FPPS 방식은 평균 재접속 지연 시간을 크게 단축시켰지만, 내부 간섭 요인이 증가할수록 Trigger 신호의 충돌 확률이 높아짐과 함께 재접속 지연시간이 점차적으로 증가함을 알 수 있다. 반면, 제안하는 방식은 Trigger 신호의 충돌을 회피하기 위한 Codeword 탐색 방식을 적용하고 피보나치 수열을 통한 동적 채널 할당을 통하여 채널 효율을 높이는 기능을 수행함으로써, 그림 12에서 나타난 바와 같이 내부 간섭 요인의 증가에 따른 FPPS 방식의 재접속 시간을 크게 개선함을 알 수 있다.

V. 결론

Bluetooth BR/EDR 환경에서 일정 시간 사용되지 않은 HID의 재접속 지연 시간 문제를 해결하기 위한 기존 FPPS 연구는 다수의 HID가 동시에 재접속하는 환경에서 전송 충돌의 문제를 발생시킬 수 있으며, 본고는 이러한 관점에서 수신 에너지 탐지와 Codeword 탐지를 활용하여 Trigger 신호 충돌 문제를 해결하였다. 또한 피보나치 수열을 활용하여 동적 채널 할당 기법을 제안하여 Bluetooth BR/EDR의 채널 효율을 향상시켰다. 이러한 환경은 Bluetooth LE의 접속 환경에서도 적용할 수 있는 부분이 존재할 것으로 판단되기에 향후 LE 기반의 HID 표준화가 진행될 경우 연구를 지속할 계획이다.

References

[1] Bluetooth Special Interest Group (SIG),

<https://Bluetooth.org>

[2] K. Cho, et al., "Analysis of latency performance of Bluetooth low energy (BLE) networks," *Sensors*, vol. 15, no. 1, pp. 59-78, 2014.

[3] Low Energy Controller Volume, Bluetooth Core Specification 5.0, Bluetooth SIG, Dec. 2016.

[4] I. Akyildiz, et al., "A survey on sensor networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.

[5] J.-S. Lee, Y.-W. Su, and C.-C. Shen, "A comparative study of wireless protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi," *IECON 2007, 33rd Annual Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, pp. 46-51, 2007.

[6] J. Lee and S. Kim, "Emergency-prioritized asymmetric protocol for improving QoS of energy-constraint wearable device in wireless body area networks," *Applied Sci.*, pp. 1-25, Jan. 2018.

[7] J. Lee, "Pre-Paging for low latency reconnection of bluetooth HIDs," *J. KICS*, vol. 43, no. 6, Jun. 2018.

[8] *The Network Simulator (NS-2)*, <https://www.isi.edu/nsnam/ns/>

[9] *CC2650 SimpleLink™ Multistandard Wireless MCU*, <http://www.ti.com>. Jul. 2016.

이 재 호 (Jaeho Lee)



2005년 : 고려대학교 전자컴퓨터공학과 석사
 2008년~2013년 : 고려대학교 전기전자전파공학과 박사
 2011년~2013년 : 서일대학교 겸임교수
 2013년~2015년 : LG전자 차세대표준연구소 선임연구원

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