

블루투스 무선 링크에서 ACL 패킷의 전송 시간에 관한 연구

문일영* · 조성준**

*한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부

**한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부

A Study of Transmission Time of ACL Packet in Bluetooth Wireless Link

Il-Young Moon* · Sung-Joon Cho**

*School of Internet Media Eng., Korea University of Technology and Education

**School of Electronics, Telecom. and Computer Eng., Hankuk Aviation University

E-mail : iymoon@kut.ac.kr

요 약

본 논문은 블루투스 무선 링크의 패킷 중에서 ACL(Asynchronous Connection Less)의 패킷을 이용하여 전송 시간을 분석한다. 블루투스 시스템에서 전송 능력을 향상시키기 위하여 사용되는 패킷 분할 과정은 TCP 상위 계층에서 내려온 전체 메시지를 분할한 다음, 베이스밴드에서 패킷을 전송하게 된다. 그리고 블루투스 피코넷 환경에서 블루투스 패킷 타입 중 DM(Data-Medium rate)1, DM3, DM5에 따른 블루투스의 패킷 전송 시간을 분석하였다. 얻어진 결과로부터 블루투스 무선 링크에서 ACL 패킷의 전송 시간, 메시지 처리 시간과 비교하여 최적의 TCP 패킷 크기와 DM 패킷의 크기를 구할 수가 있었다.

ABSTRACT

In this paper, it is analyzed a transmission time of ACL Packet in bluetooth wireless link. In order for segment to improve the transfer capability in bluetooth system, it is fragmented in TCP total messages that are coming down from upper layer and then the packets are sent one at time in baseband. And it is studied that transmission time for bluetooth wireless link according to DM1, DM3 or DM5 packet type in bluetooth piconet environment. From the results, we were able to obtain ACL packet transmission time, optimal TCP packet size and DM packet size.

키워드

Bluetooth, ACL, L2CAP, SAR,

1. 서 론

블루투스는 고정 또는 이동 가능한 전자기기들을 연결하는 케이블을 대체하기 위해 고안된 근거리 무선 링크이다. 주요 특징으로는 전송속도, 기기의 낮은 복잡성, 저전력, 저가격이다. 블루투스는 면허가 필요 없는 2.4 GHz ISM 대역에서 동작하며, 간섭(interference)과 페이딩에 대처하기 위하여 주파수-도약 송수신기가 사용된다. 그리고 송수신기의 복잡성을 줄이기 위하여 가우시안 모양의, 이진 FM 변조가 적용된다. 심볼율은 1 Ms/s이며 625 μ s의 슬롯길이를 가지는 슬롯으로 나누어진 채널이 적용된다. 또 전이중 전송(full duplex transmission)을 위해서 TDD(Time

Division Duplex) 방식이 사용된다. 정보는 패킷에 실려서 채널을 통해 서로 교환되며, 각각의 패킷은 다른 도약 주파수에 실려서 전송된다. 한 개의 패킷은 1개의 슬롯을 차지하지만 5개의 슬롯까지 점유가능하다는 것이 특징이라고 할 수 있다[1],[2]. 그러나, 지금까지 블루투스와 같은 근거리 통신의 문제점은 약한 에러 제어가 제한되어 있기 때문에, 현재의 데이터를 송수신 하는데는 많은 시간이 소요되고, 무선망에서의 패킷 손실이 일어날 수 있다는 것이다[3].

본 논문은 이러한 블루투스 무선 링크의 패킷 중에서 ACL(Asynchronous Connection Less)의 패킷을 이용하여 성능 분석을 한다. ACL은 일종의 패킷 교환 방식으로 대칭, 비대칭의 서비스

를 모두 제공하는 것으로 폴링을 사용하여 사용자들에게 TDD 프레임을 제공하는 비동기화 링크이다. 여러 조정 방법을 고려한 블루투스 무선 링크의 성능 분석을 위하여 데이터를 전송하는 ACL 링크의 패킷 중 DM1, DM3, DM5 패킷을 성능 분석 한다. 결과로부터 블루투스 무선 링크의 ACL 패킷의 전송 시간, 메시지 처리 시간과 비교하여 최적의 TCP 패킷 크기와 DM 패킷의 크기를 구하고자 한다.

만 적용한 것이다. DM형은 패킷 헤더 부분에 1/3 FEC, 페이로드 부분에 2/3 FEC가 적용되고 DH는 헤더 부분은 DM과 동일하지만 페이로드 부분에는 어떤 여러 조정 방법도 사용하지 않고 전송한다. 그러나, ARQ는 DM, DH 모두에 적용된다. 그림 2와 그림 3은 블루투스 표준 패킷 구조와 블루투스 다중 슬롯의 패킷의 전송을 나타내었다.

II. 블루투스의 개요

서로 간의 통신 영역 안에 있는 블루투스 장치는 ad hoc 네트워크를 형성하여 통신을 할 수 있다. 원칙적으로 각각의 장치는 같은 하드웨어 능력을 가진 동등한 장치이다. 셀룰러 시스템과는 달리 블루투스 시스템은 단말기와 기지국의 구분이 없다. 하나의 채널을 공유하는 2개 또는 그 이상의 블루투스 장치는 하나의 피코넷을 형성하고, 채널상의 트래픽을 제어하기 위하여 통신에 참여하는 장치 중의 하나가 피코넷의 마스터가 된다. 어떠한 장치도 마스터가 될 수 있지만, 피코넷을 설정한 장치가 마스터 역할을 맡는 것으로 간주되며 다른 장치들은 슬레이브가 된다. 이러한 블루투스 피코넷 구조를 그림 1에 나타내었다.

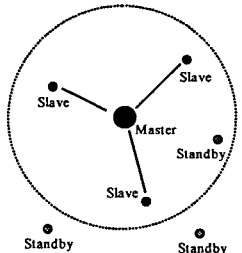


그림 1. 블루투스 피코넷

블루투스 시스템에서의 데이터는 패킷 단위로 전달된다. 그림 2는 표준 패킷 구조를 나타내며 각 패킷은 크게 3개의 개체, 즉 액세스 코드, 헤더, 페이로드로 구성 된다. 그림 2의 숫자는 각각의 비트 번호를 표시한다. 액세스 코드와 헤더는 고정 크기인 각각 72 비트와 54 비트이다. 페이로드에는 0에서 최고 2745 비트까지 사용 가능하다. 패킷은 액세스 코드, 액세스 코드+헤더, 액세스 코드+헤더+페이로드 등의 형태가 있으며, 그 중에서 블루투스 ACL 패킷은 일정량의 에러율을 동반하는 무선 환경을 최대한 극복하도록 FEC(Forward Error Correction)와 ARQ(Automatic Repeat reQuest)를 사용한다. 블루투스의 ACL 패킷 중에서 DM(Data Medium rate)에는 Hybrid ARQ를 적용하고 DH(Data-High rate)에는 ARQ

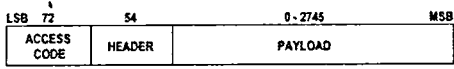


그림 2. 블루투스 표준 패킷 구조

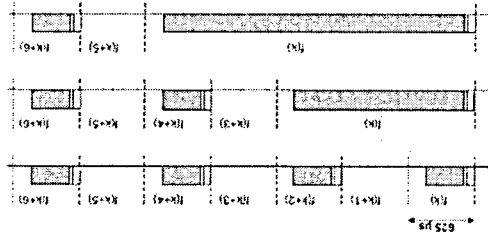


그림 3. 블루투스 다중 슬롯의 패킷 전송

III. 블루투스 ACL 패킷 전송 시간 분석

블루투스는 10m~100m 내의 무선 연결 (2.4 GHz ISM 대역) 규격을 따르고 있는 단파장의 라디오 규격으로 인터넷 장치 간에 통신에 주력하고 있는 기술이다. 이 기술에는 각 장치와 컴퓨터 간의 통신 프로토콜도 포함되어 있다. 이러한 블루투스 프로토콜 구조를 그림 4에 나타내었다. 블루투스 패킷의 전송 시간 시뮬레이션을 위해서 이 프로토콜 스택을 기준으로 하였다. 블루투스 상위 계층에서 블루투스의 하위 계층까지의 프로토콜 스택을 지나는 전체 패킷 전송을 보여준다.

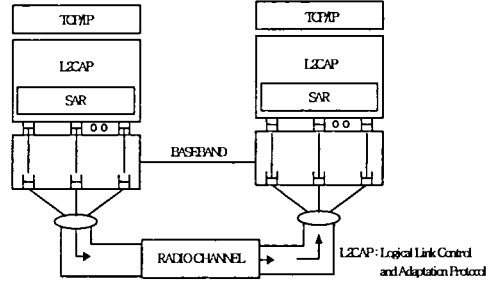


그림 4. 블루투스 프로토콜 스택

ACL 패킷을 성능 분석하기 위해 본 논문에서는 그림 4의 블루투스 프로토콜 스택을 이용하여 각 기능별로 기호를 정의하고 수식적으로 나

타내었다. 성능 분석 모델은 상대방의 블루투스 단말기, 블루투스 무선 채널로써 사용 되어지고 있는 GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying) 이 용하여 분석하였다.

블루투스 베이스밴드에서 전송되는 GFSK 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다[4],[5].

$$p(t) = \text{Re} \left\{ \sqrt{\frac{2E}{T}} \exp \left(j2\pi \left\{ f_c t + h \int_x g(t) dt \right\} \right) \right\}$$

E는 심볼 당 에너지, T는 심볼 주기, f_c 는 반송파 주파수, h는 변조도 그리고 g(t)는 GLPF(Gaussian Low Pass Filter)의 전달함수이다.

또한, ACL 패킷이 다른 단말기로 패킷이 전송될 때 ACL 패킷 중 FEC 기법을 사용하고 있는 DM 패킷 1, 3, 5 슬롯을 이용하였고, 그림 4에서 상위 계층 TCP 패킷 크기에 따라 DM 패킷들의 전송 시간을 각각 분석하였다. 따라서 TCP 패킷으로부터, UDP, IP, PPP, L2CAP으로 각각 하위 계층으로 내려오는 SAR(Segment and Reassembly) 과정을 간단하게 각 기호를 나타내면 아래와 같다.

- K : TCP에서 분할된 메시지의 전체 패킷 수,
- M_{TOTAL} : TCP의 상위 계층의 전체 메시지 크기,
- M_{SEG} : TCP 계층 내에서 상위 계층의 데이터를 분할하는 TCP 패킷 단위의 크기,
- L_{TCP} : TCP 에서 분할된 마지막 패킷 크기,
- M_{TCP} : M_{SEG} 의 크기와 TCP 패킷 크기,
- M_{L2CAP} : 상위 계층에서 L2CAP 계층으로 전달되는 데이터의 크기,
- F : L2CAP 프레임,
- $T_{PKT}(ms)$: N개의 L2CAP 프레임으로 분할된 TCP 패킷 전송 시간,
- D_S : L2CAP 계층에서 한 slot 당 전송되는 데이터의 크기,
- N : M_{L2CAP} 을 구성하는 분할된 프레임의 수,
- H_{TCP} : TCP 헤더 크기, H_{UDP} : UDP 헤더 크기,
- H_{PPP} : PPP 헤더 크기, H_{IP} : IP 헤더 크기,
- $T_{MSG}(ms)$: 전체 메시지 전송시간,
- S_{TIME} : TCP 패킷의 전송 슬롯 타임,
- p : 프레임이 성공적으로 전송될 확률,
- q, r : D_S 에 의해 계산된 프레임 수.

위에서 정의한 기호를 바탕으로 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$K = \left\lceil \frac{M_{TOTAL}}{M_{SEG}} \right\rceil \quad (1)$$

단, $\lceil x \rceil$ 는 x+1 보다 크지 않은 정수

$$M_{TCP} = M_{SEG} + H_{TCP}. \quad (2)$$

$$L_{TCP} = M_{TOTAL} - (K-1)M_{SEG} + H_{TCP}. \quad (3)$$

$$M_{L2CAP} = M_{TCP} + H_{UDP} + H_{IP} + H_{PPP}. \quad (4)$$

$$N = \left\lceil \frac{M_{L2CAP}}{D_S} \right\rceil, \quad (5)$$

$$P(F = m) = (1 - p)^{m-1} p \quad (6)$$

$$E(F) = \sum_{m=1}^{\infty} m \cdot P(F = m) = \frac{1}{p} \quad (7)$$

$$E(P) = N \cdot E(F) = \frac{N}{p} \quad (8)$$

$$T_{PKT}(N) = E(P) \cdot S_{TIME} = \frac{S_{TIME} N}{p} (ms) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} T_{MSG} &= (K-1)T_{PKT}(q) + T_{PKT}(r) \\ &= (K-1) \frac{S_{TIME} * q}{p} + \frac{S_{TIME} * r}{p}, \end{aligned} \quad (10)$$

블루투스에서 패킷의 전송시간을 구하는 것은 블루투스 시스템 성능에 아주 중요한 결과를 가져올 수 있다. ACL 패킷 크기가 작으면, 패킷 전송시간이 짧아져 무선 구간에서의 패킷 손실이 줄어들 수가 있으나, ACL 전체 메시지를 분할하기 때문에 패킷 개수에 따라 오버헤드가 비례적으로 증가하여 전체 메시지 전송시간은 증가하게 된다. 반대로 패킷의 크기가 크면 전체 메시지 전송시간이 감소할 수 있으나, 패킷 전송시간이 상대적으로 길어져 무선 환경에서의 간섭에 의한 패킷 손실이 일어날 수가 있다. 본 논문에서는 ACL 중에 DM 패킷의 최적의 전송시간을 구하고 그에 따른 TCP 패킷 크기를 구하고자 한다.

IV. 시뮬레이션 결과

블루투스 시스템에서의 성능 개선을 실험하기 위해 무선 환경에서의 E_b/N_0 값을 5 dB로 하였다. 성능 분석을 하기 위해 사용된 패킷은 DM 1, 3, 5 슬롯 패킷이며, DM 패킷은 패킷 내의 페이로드 안에 2/3 FEC (Forward Error Correction) 기능이 있어 데이터를 수신지에 전송할 때, 에러가 발생했을 경우 빠르게 복구하는 장점이 있다. 본 논문에서는 DM1, DM3, DM5 패킷을 각각 사용하여 ACL 패킷의 전송 시간을 분석한다. S_{TIME} 은 하나의 패킷을 보내면 그에 대한 확인 응답을 기다리는 TDD 방식을 사용함으로써, TCP 상위 계층에서 하위 계층 블루투스까지 DM 패킷을 전송할 때 수신지에 전체 메시지 도달한 후, 확인 응답하는 시간까지 모두 계산하여 분석하였다. S_{TIME} 은 DM1, DM3, DM5 경우에 각각 625 μ s, 1875 μ s, 3125 μ s 호핑 슬롯을 사용하였다. ACL 패

킷의 전송시간을 구하기 위해서 전체 메시지 전송 시간을 AWGN과 라이시안 페이딩 채널을 각각 적용하여 $M_{TOTAL} = 5000$ 바이트의 GFSK의 피코넷에서 분석하였다. 그림 5는 블루투스 GFSK 시스템에서 시뮬레이션 하기 위한 비트 오류 성능이다. 그림에서도 알 수 있듯이 라이시안 페이딩 환경이 다른 AWGN 이나 GFSK 환경에서 보다 훨씬 성능이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그림 6의 두 그래프 결과 화면은 TCP 패킷의 크기와 E_b/N_0 (5 dB, 10 dB)에 따른 ACL 패킷의 DM 패킷 성능 분석을 나타내었다.

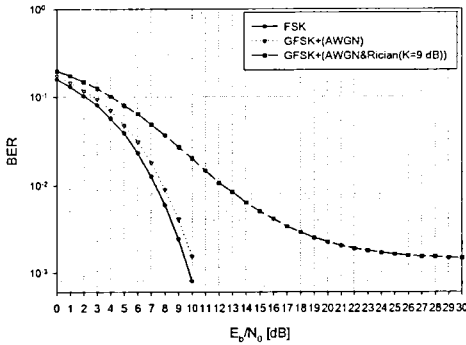


그림 5. 블루투스 피코넷의 비트 오류 성능

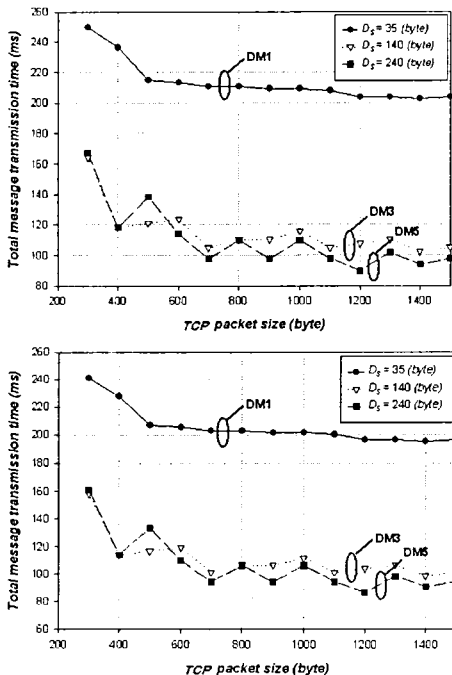


그림 6. 블루투스 무선 링크의 DM 패킷의 전송 시간 ($E_b/N_0=5$ dB, 10 dB, 라이시안)

그림 6의 두 그래프를 비교했을 경우 DM1 (35 바이트) 슬롯 패킷에서 DM3 (140 바이트), DM5 (240 바이트) 슬롯 패킷으로 증가함에 따라 전송 시간이 감소함을 알 수가 있다. 또한 같은 라이시안 페이딩 채널을 적용했음지라도 E_b/N_0 의 값이 10 dB인 경우(그림 6의 두 번째 그래프) DM 패킷 메시지를 전송하는데 시간이 감소함을 알 수가 있다.

결과적으로, DM1보다 DM5를 사용함으로써, 패킷의 전송 시간이 감소함을 알 수 있다. 또한, 어떠한 환경 변수를 적용하느냐에 따라 성능 개선이 달라짐을 알 수 있었다. 그리고, 그림 6에서 무선 환경에서의 비트 오류율을 고려하여, 최적의 TCP 패킷 크기는 약 600 바이트였으며, 적당한 DM 패킷의 전송 시간은 데이터 크기에 따라서 시간이 결정되는데 각각 약 200ms (DM1), 110ms~130ms (DM3, DM5) 임을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문은 블루투스 무선 링크의 패킷 중에서 ACL의 패킷을 이용하여 전송 시간을 분석하였다. 블루투스 시스템에서 전송 능력을 향상시키기 위하여 사용되는 패킷 분할 과정은 TCP 상위 계층에서 내려온 전체 메시지를 분할한 다음, 베이스 밴드에서 패킷을 전송하게 된다. 얻어진 결과로부터 블루투스 피코넷 환경에서 ACL 패킷의 전송 시간, 메시지 처리 시간과 비교하여 성능이 개선됨을 알 수 있었다. 또한, 최적의 TCP 패킷 크기와 DM 패킷의 크기를 구할 수가 있었다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 한국산업기술평가원 지정 한국항공대학교 부설 인터넷정보검색 연구센터의 지원에 의함.

참고문헌

- [1] <http://www.bluetooth.org/>
- [2] B.A. Miller, *Bluetooth Revealed* : Prentice-Hall, 2001
- [3] 박홍성, 허경욱, "WAP에서의 WTP 성능 평가", *한국통신학회 논문지*, vol. 26, No. 1A, pp. 67-76, Jan. 2001.
- [4] J.G. Proakis, *Digital Communications*, New York : McGraw-Hill, 4th ed., 2001.
- [5] B. Sklar, *Digital Communications* : Prentice-Hall, 2001.