

블루투스 시스템에서 터보 코드를 이용한 ACL 패킷의 성능 개선

문 일 영, *조 성 준

한국항공대학교 대학원 정보통신공학과, *한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부

전화 : 02-3158-1518 / 핸드폰 : 011-715-0255

Performance Improvement of ACL Packet using Turbo Code in Bluetooth System

Il-Young Moon, *Sung-Joon Cho

Dept. Graduate School of Information and Telecommunication Eng., Hankuk Aviation University

*Schools of Electronics, Telecommunication, and Computer Eng., Hankuk Aviation University

E-mail : iymoon21@mail.hankong.ac.kr

Abstract

In this paper, it is analyzed a performance improvement of ACL Packet using turbo code scheme in bluetooth system. In order for segment to improve the transfer capability, the transmission of messages have been simulated using a fragmentation that begins with the total package and incremental fragmentation for each layer using the TCP to define the resultant packet size and the level of fragmentation for each proceeding layer. This turbo code scheme decreases transmission time of L2CAP baseband packets by sending packets. From the results, we were able to obtain packet transmission time, optimal TCP packet size, ACL(DM packet) in AWGN.

I. 서론

현재 무선 인터넷과 더불어 차세대 무선 데이터 통신 기술이 정보통신 시장의 새로운 화두로써 대두되고 있다. 휴대용 단말기가 사용자에게 편리함을 줄 수 있는 것은 휴대용 단말기에 선이 필요 없다는 점이며 무선의 특성은 휴대용 단말기로 하여금 위치에 구애받지 않는 자유로움을 주게 된다. 그 중에서도 블루투스는 고정 또는 이동 가능한 전자기기들을 연결하는 케이블을 대

체하기 위해 고안된 근거리 무선 링크이다. 중요 특징으로는 전송속도, 기기의 낮은 복잡성, 저전력, 저가격이다. 블루투스는 면허가 필요없는 2.4GHz ISM 대역에서 동작한다[1],[2]. 간섭(interference)과 페이딩에 대처하기 위하여 주파수-도약 송수신기가 사용된다. 그러나, 지금까지 블루투스 와 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 서비스를 모두 제공하는 것으로 폴링을 사용하여 사용자들에게 TDD 프레임을 제공하는 비동기화 링크이다. 에러 정정 방법을 고려한 블루투스 무선 링크의 성능 분석을 위하여 데이터를 전송하는 ACL 링크의 패킷 중 DM 패킷을 성능 분석 한다. 블루투스 시스템에서 패킷 손실 및 성능을 향상시키기 위하여 터보 코드 기법을 이용하여 피코넷 AWGN 환경에서 ACL 패킷의 전송 시간, 메시지 처리 시간과 비교하여 성능 분석한다.

II. 블루투스 시스템

2.1 블루투스 프로토콜 구조

이동성을 지원하기 위한 여러가지 무선기술의 발달로 인해 무선 인터넷의 발달이 급속도로 이루어지고 있다. 그 중 블루투스는 근거리에서 데이터 통신을 무선으로 가능하게 해주는 기술이다. 또한 저렴한 가격에, 작은 크기를 가지고 전 세계를 이어주는 휴대장치와 네트워크 장치를 이어주는 기술 사양이다. 이것은 10m~100m 내의 무선 연결 (2.4GHz 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 1에 나타내었다.

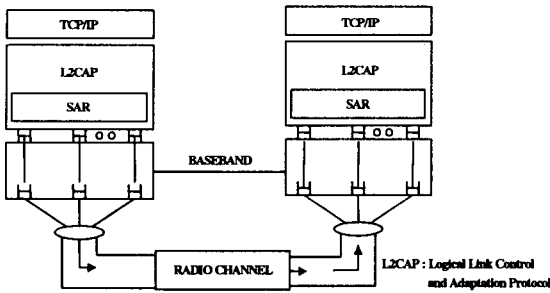


그림 1. 블루투스 프로토콜 구조

2.2 블루투스 ACL 패킷

블루투스 시스템에서의 데이터는 패킷 단위로 전달된다. 그림 2는 표준 패킷 구조를 나타내며 각 패킷은 크게 3개의 개체, 즉 액세스 코드, 헤더, 페이로드로 구성된다. 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 ARQ만 적용한 것이다. DM형은 패킷 헤더 부분에 1/3 FEC, 페이로드 부분에 2/3 FEC가 적용되고 DH는 헤더 부분은 DM과 동일하지만 페이로드 부분에는 어떤 에러 정정 방법도 사용하지 않고 전송한다. 그러나, ARQ는 DM, DH 모두에 적용된다. 그림 2와 표 1은 블루투스 표준 패킷 구조와 블루투스 ACL 패킷 종류 DM, DH의 1, 3, 5 슬롯을 패킷 타입 별로 나타내었다.

LSB	72	54	0-2745	MSB
ACCESS CODE	HEADER		PAYLOAD	

그림 2. 블루투스 표준 패킷 구조

표 1. ACL 링크의 패킷 종류 (DM, DH 패킷)

패킷 타입	최대값 페이로드 (byte)	FEC	CRC	대칭채널 최대 데이터율 (kbps)	비대칭채널 최대 데이터율 (kbps)	
					순방향	역방향
DM1	0 ~ 17	2/3	Yes	108.8	108.8	108.8
DH1	0 ~ 27	None	Yes	172.8	172.8	172.8
DM3	0 ~ 121	2/3	Yes	258.1	387.2	54.4
DH3	0 ~ 183	None	Yes	390.4	585.6	86.4
DM5	0 ~ 224	2/3	Yes	286.7	477.8	36.3
DH5	0 ~ 339	None	Yes	433.9	723.2	57.6

III. ACL 패킷의 전송 모델링

3.1 터보 코드 기법 (Turbo code scheme)

앞으로의 무선 통신은 고속 데이터 및 영상정보 전송 등 광대역 무선 접속을 지원할 수 있어야 하며, 강력한 오류 정정 채널 코딩 기법은 무선 통신 시스템 개발에 있어서 핵심요소이다. 이것에 대한 해결책으로 1993년 Berrou에 의해 발표된 터보 코드는, 사의 통신용량 한계에 근접하는 우수한 성능을 나타내며, 그 동안 실용화의 걸림돌로 작용했던 복호 지연 문제점도 해결하였다. 특히, 블루투스 AWGN 환경의 사의 통신용량 한계 0.5 dB 안에서 터보 코드는 FEC를 여러 정정하는 데 효과가 있다. 그러나, 코드 자유 거리가 작을 경우에는, 터보 코드의 성능 곡선이 높은 SNR(Signal-to-Noise Ratios)에서 변할 수가 있다[4].

본 논문에서는 블루투스 시스템 ACL 패킷 전송 시간을 향상시키기 위하여 Rate 7/8과 1/3 터보 코드를 사용하여 분석하였다.

3.2 터보 코드를 이용한 ACL 패킷 전송 모델링

ACL 패킷을 성능 분석하기 위해 본 논문에서는 그림 1의 블루투스 프로토콜 구조를 이용하여 각 기능별로 기호를 정의하고 수식적으로 나타내었다. 성능 분석 모델은 상대방의 블루투스 단말기, 블루투스 무선 채널로써 사용 되어지고 있는 GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying) 이용하여 분석하였다. 또한, ACL 패킷이 다른 단말기로 패킷이 전송될 때 ACL 패킷 중 FEC 기법을 사용하고 있는 DM 패킷 1, 3, 5 슬롯을 이용하였고, 그림 1에서 상위 계층 TCP 패

킷 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,
- $T_{PKT}(ms)$: N 개의 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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$T_{MSG} = (K-1)T_{PKT}(q) + T_{PKT}(r) \quad (10)$$

$$= (K-1) \frac{S_{TIME} * q}{p} + \frac{S_{TIME} * r}{p}$$

$$q = \left\lceil \frac{M_{TCP} + 36}{D_s} \right\rceil \quad r = \left\lceil \frac{L_{TCP} + 36}{D_s} \right\rceil \quad (11)$$

위 식 (11)에서의 36은 UDP, IP, PPP 헤더의 크기를 모두 계산한 것을 의미한다. 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. 터보 코드 기법을 이용한 ACL 패킷의 전송시간 성능 분석은 무선 환경이 GFSK인 경우를 적용하였다.

IV. ACL 패킷의 성능 개선

블루투스 시스템에서의 성능 개선을 실험하기 위해 무선 환경에서의 E_b/N_0 값을 3 dB로 하였다. 성능 분석을 하기 위해 사용된 패킷은 DM 1, 3, 5 슬롯 패킷이며, 또한, 터보 코드 기법을 적용하여 Rate 7/8, Rate 1/3인 경우와 서로 비교하여 성능을 분석한다. 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 패킷의 전송시간을

구하기 위해서 전체 메시지 전송 시간을 AWGN 환경에서 $M_{TOTAL} = 5000$ 바이트의 GFSK의 피코넷에서 분석하였다. 그림 3은 AWGN 환경에서 Rate 7/8 터보 코드인 경우와 그림 4는 Rate 1/3 터보 코드인 경우에서의 TCP 패킷의 크기에 따른 ACL 패킷의 DM 패킷 성능 분석을 나타내었다.

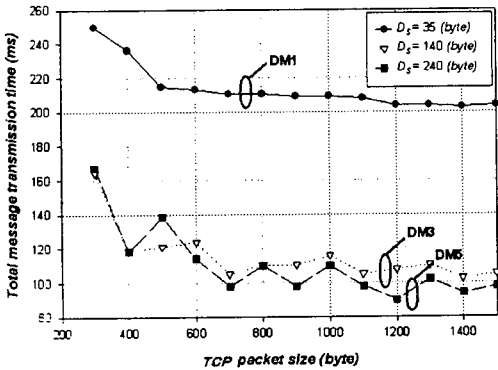


그림 3. 블루투스 시스템에서의 DM 패킷의 전송 시간 ($E_b/N_o = 3$ dB, Rate 7/8 Turbo code)

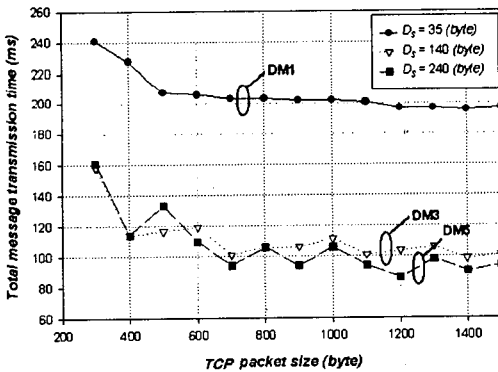


그림 4. 블루투스 시스템에서의 DM 패킷의 전송 시간 ($E_b/N_o = 3$ dB, Rate 1/3 Turbo code)

그림 3과 4의 경우를 비교했을 경우 DM1 (35 바이트) 슬롯 패킷에서 DM3 (140 바이트), DM5 (240 바이트) 슬롯 패킷으로 증가함에 따라 전송 시간이 감소함을 알 수 있다. 또한 같은 터보 코드를 적용했음지라도 Rate 7/8 보다 Rate 1/3이 DM 패킷 메시지를 전송하는데 시간이 감소함을 알 수가 있다.

결과적으로, 블루투스 시스템에서 터보 코드를 사용함으로써, 패킷의 전송 시간이 감소함을 알 수 있다. 또한, 어떠한 Rate를 적용하느냐에 따라 성능 개선이 달라짐을

알 수 있었다. 그리고, 그림 3과 4에서 무선 환경에서의 비트 오류율을 고려하여, 최적의 TCP 패킷 크기는 AWGN 환경에서 약 600 바이트였으며, 적당한 DM 패킷의 전송 시간은 데이터 크기에 따라서 시간이 결정되는데 각각 220ms (DM1), 120ms~140ms (DM3, DM5) 임을 알 수 있었다.

V. 결론

본 논문은 블루투스 시스템의 열악한 환경 속에서 터보 코드 기법을 도입하여 데이터를 전송하는 ACL 패킷의 성능 향상을 분석하였다. ACL 패킷의 전송 능력을 향상시키기 위한 한 방법으로 ACL 패킷 중 DM 패킷을 터보 코드 기법을 적용하여 AWGN 환경에서 Rate 7/8, Rate 1/3인 경우와 서로 비교하여 분석하였다. 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.

본 논문은 터보 코드를 도입함으로써 블루투스 QoS(Quality of Service)의 향상과 메시지 송수신 품질 및 전송 속도에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부·한국과학재단 지정 경기도 지역협력연구센터(RRC)인 한국항공대학교 인터넷 정보검색 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- [1] J. C. Haartsen, "The Bluetooth radio system," *IEEE Personal Comm.*, vol. 7, pp. 28-36, Feb. 2000.
- [2] <http://www.bluetooth.org/>
- [3] 박홍성, 허경옥, "WAP에서의 WTP 성능 평가", *한국통신학회 논문지*, vol. 26, No. 1A, pp. 67-76, Jan. 2001.
- [4] R. Garello, F. Chiaraluce, P. Pierleoni, M. Scaloni, S. Benedetto, "On Error Floor and Free Distance of Turbo codes", *IEEE International Conference on Communications*, vol.1, pp. 45-49, 2001.