

ETRI-AP의 블루투스 무선 연결에서 ACL 패킷의 성능 분석

한상백, 허진, 박성수
한국전자통신연구원

Performance Evaluation of Bluetooth ACL packet equipped in ETRI-AP Sangbaek Han, Jin Hur, Seong-Su Park Electronic and Telecommunications Research Institute

Abstract

본 논문에서는 자체 제작된 블루투스 액세스포인트 (ETRI-AP)와 블루투스 단말 장치 사이에 ACL 연결을 맺고, 이 연결을 통해 데이터 전송 속도를 측정함으로써 다수의 슬레이브와 통신해야 하는 경우 길이가 짧은 패킷을 사용하는 것이 효율이 좋음을 보였다.

1 서론

블루투스의 활용범위는 초기 제안되었던 컴퓨터 주변기기의 케이블을 대체하기 위한 목적 이상으로 PDA, 휴대폰을 포함한 이동 단말 및 인터넷 정보 가전 간의 데이터 및 음성 통신의 영역까지 확장되고 있다. 블루투스 기기의 무선 네트워크 구조는 한 개의 마스터와 일곱 개까지의 슬레이브 사이에 무선 접속으로 이루어진 피코넷을 기본 단위로 하며, 피코넷은 이동 단말이나 정보 가전에 적합한 구조를 제공하지만 동시에 다수의 슬레이브와 효과적이고 안정적인 통신을 필요로 한다. 이를 위해 블루투스 SIG는 다양한 무선 연결 기능을 제정하여 블루투스 1.1 이라는 규격을 발표하였다. 이미 상용화 단계에 들어선 장치들은 대부분 1.1 규격을 만족하고 있다. 그러나, 규격만으로는 다양한 상황에 미처 대처하지 못하는 경우가 발생하기 마련이며, 이러한 예외 상황을 처리하기 위해 블루투스 장치 제조사들은 제각기 독특한 기법을 사용한다.

블루투스 시스템 운용 중에 발생하는 예외 상황 처리나 동작 최적화에 접근하기 위해 베이스밴드와 운용 프로토콜 스택에 적절한 기능을 추가하여야 한다. 블루투스 베이스밴드는 규격 1.1에 명시된 바와 같이 FEC와 ARQ를 사용하여 전송 에러 정정과 복구를 지원함으로써 안정적이고 효과적인 데이터 통신을 꾀한다[1]. 또한 무선 연결 상태를 적절하게 감시하고 변화시킴으로써 효율을 더욱 높이기도 한다[2]. 예로써, 무선 연결의 상태에 따라 전송 패킷에 FEC 사용

여부를 변화시키며, 사용 가능 슬롯 개수에 따라 전송 메시지를 알맞게 분할하는 기법도 제안되었다[3].

프로토콜 스택으로 접근하는 방법은 베이스밴드의 기능이 뒷받침되어야 하지만, 다양한 시스템 동작 상황에 알맞은 조절, 즉 최적화가 비교적 용이하다. 시스템을 동작시키기에 앞서, 동작 환경에 대해 적절히 시스템을 조절하여 평균적인 성능을 더욱 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 ETRI-AP를 통해 데이터 터미널이 받는 메시지의 전송 시간을 여러 가지 시스템 운용 상태에 따라 측정, 분석하여 ETRI-AP와 유사한 시스템의 효율을 높이는 방법 중의 하나를 제시하였다.

2장에서는 블루투스 시스템의 무선 연결 및 ETRI-AP에 대해 대략적으로 소개하고, ETRI-AP를 이용한 측정 결과를 소개한다. 3장에서는 측정 결과의 분석을 통해 ETRI-AP와 유사한 동작환경에서 블루투스 장치의 설정에 대해 결론 짓는다. 또한, 측정 중에 발생한 예외 상황에 대해 논의한다.

2 본론

2.1 블루투스 무선 연결의 개요

블루투스 무선 링크는 SCO (Synchronous Connection Oriented)와 ACL (Asynchronous Connectionless) 두 가지가 있다. 본 논문에서는 L2CAP/RFCOMM/PPP 프로토콜 스택을 이용하는 LAP (LAN Access Profile) 시스템에서의 데이터 전송 속도에 대해 측정하였기 때문에 ACL 링크만을 고려하였다. 블루투스는 625usec 길이의 시간으로 송수신 슬롯을 나누어 데이터를 전송하는 시분할 양방향 전송 방식(time-division-duplex, TDD)을 사용하며, 데이터 전송에 사용되는 슬롯의 개수와 에러 정정 방법의 적용 여부에 따라 표 1과 같이 7개의 패킷 타입을 구분한다. 본 논문에서

AUX1 패킷 형은 고려하지 않는다. DM형 패킷은 유료부하에 2/3 FEC 오류정정을 적용시킨 것이고 DH형 패킷은 오류정정을 적용하지 않고 사용자 유료부하의 용량을 증가시킨 것이다. DM 과 DH 각 타입의 1,3,5는 한 패킷이 사용하는 타임 슬롯의 개수를 나타내는 것으로, DM1은 한 패킷이 하나의 타임 슬롯 625usec를 사용하며 DM5는 5개의 타임슬롯을 사용한다.

표 1 블루투스 ACL 패킷 타입

타입	유료부하 헤더	사용자 유료부하	FEC	CRC
DM1	1	0 ~ 17	2/3	Yes
DH1	1	0 ~ 27	No	Yes
DM3	2	0 ~ 121	2/3	Yes
DH3	2	0 ~ 183	No	Yes
DM5	2	0 ~ 224	2/3	Yes
DH5	2	0 ~ 339	No	Yes
AUX1	1	0 ~ 29	No	No

블루투스 표준 패킷은 그림 1과 같이 액세스코드, 헤더, 유료부하로 구성되며 ACL패킷 타입에 따라서 유료부하의 인코딩 방법이 달라져서 한 패킷이 전송할 수 있는 사용자 유료부하의 길이 차이가 생긴다. 블루투스는 시분할 전송 방식에 따라 한번의 송신 후에는 반드시 피드백 패킷을 수신하게 되는데, 수신된 패킷의 ARQN 필드 값에 따라 송신한 패킷의 송신 성공 여부를 알 수 있다. 이러한 송수신 과정을 고려하면, 하나의 ACL 패킷이 완전히 송신되기 위해 필요한 시간은 DM1/DH1일 경우엔 최소 두 개의 타입 슬롯이, DM5/DH5 일 경우엔 최소 6개의 타입 슬롯이 필요하다. 피드백 패킷의 타입에 따라 대칭형/비대칭형 ACL 연결이 가능하며 DH5패킷 타입을 사용하여 송신하고, 한 개의 타입 슬롯 동안 수신하는 경우에 약 723.2kbps정도의 최대 단방향 송신 속도가 나온다.

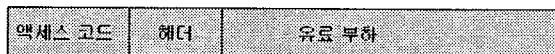


그림 1. 블루투스 표준 패킷

2.2 ETRI-AP 시스템의 구성

본 논문의 블루투스 ACL 링크 성능

측정은 자체 제작한 블루투스 랜 액세스포인트(ETRI-AP)와 데이터 터미널 사이의 블루투스 연결에 대해 수행되었다. ETRI-AP는 무선랜, 블루투스, USB 네트워크, 이더넷 및 ADSL의 통신 수단을 제공하며 그 구성은 다음 표 2와 같다. 인터넷 서비스 회사로부터 ADSL이나 인터넷 전용선을 이용해 인터넷 서비스를 제공 받고, 무선랜이나 블루투스가 장착된 단말기는 ETRI-AP에 접속하여 이더넷이나 ADSL을 이용하여 광역 인터넷 망에 연결된다. 본 논문에서 블루투스 ACL 데이터 전송 속도를 측정하기 위해 블루투스 통신에 직접적인 영향을 줄 수 있는 무선랜은 제거한 상태에서 이루어 졌다.

표 2 ETRI-AP의 구성

CPU	PPC 계열
OS	Linux
주변 장치 인터페이스	PCMCIA, USB, 10BaseT 이더넷 2포트, 1 시리얼 포트, 무선랜, ADSL
블루투스 스택	- HCI/L2CAP/RFCOMM/PPP
지원 프로토콜	PPP, NAT, PAT, DHCP, PPPoE

ETRI-AP에 장착된 블루투스 장치는 상용 제품으로 USB 인터페이스를 갖는다. 이 블루투스 장치는 모든 블루투스 패킷 타입을 지원하며, 베이스밴드에서 블루투스 무선 ACL링크의 상태를 감시하면서 적절한 연결 패킷 타입을 변경하는 내부 알고리즘이 구현되어 있다[2]. 또한, 블루투스 프로토콜 스택은 블루투스 장치를 제어하기 위해 HCI 명령을 직접 내릴 수 있다.

2.3 무선 연결 상태에 따른 메시지 전송 시간 측정

ACL 링크 성능 측정은 L2CAP/RFCOMM/PPP 연결 후 인터넷 프로토콜 메시지와 두 블루투스 장치의 L2CAP 레이어 메시지 송수신에 대해 수행되었으며, L2CAP 레이어에서 데이터 송수신에 대해서는 2.3.2절에서 논하겠다.

2.3.1 측정 방법

전체 1000000 바이트 크기의 테스트 파일이 전송되는 시간을 측정하여 전송 속도를 [전송 파일 크기/전송 시간]으로

측정하였다. 피드백 패킷은 한 개의 타임 슬롯으로 고정하여 비대칭 ACL연결이 맺어지도록 HCI 커맨드를 수행하였다. 전송 시간은 블루투스 장치의 페이징, ACL 연결 과정에서 소모되는 시간을 제외한 테스트 파일 전송 시간만을 측정하였다. 두 장치의 거리를 고정 시키고 DM1, DH1, DM3, DH3, DM5, DH5 타입으로 ACL 링크 타입을 바꾸면서 각 패킷 타입에 대해 전송 속도를 측정하였다. 6 종류의 패킷에 대한 측정을 한 세트로, 총 10 세트의 측정을 행하였다. 다음으로 장치 간의 거리를 변화시키면서 측정을 반복하였다. 시스템의 주위 환경이 급격하게 변화하지 않는다고 가정할 때, 이와 같은 순서로 측정을 수행하여, 각 타입의 패킷들이 측정 중 발생할 수 있는 환경 노이즈의 변화를 고르게 받았을 것을 가정하였다.

본 실험은 실 생활에서 블루투스 장치를 활용할 때 블루투스 연결의 효율을 알아보기 위해서 행해진 것으로, 블루투스 장치가 설치된 주변의 생활 노이즈를 배제시키지 않아서, 다수의 컴퓨터나 형광등, 전기 스위치 등 무선 통신에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 요소들이 많았다. 에어 정정 알고리즘 적용 여부에 따라 ACL 연결의 성능 비교에 중점을 두었기 때문에 전송 효율은 다음과 같이 각 패킷 타입의 최대 전송 속도에 대한 비율로 나타내었다.

$$\text{전송 효율} = \frac{\text{평균 전송 속도}}{\text{최대전송 속도}}$$

최대 전송 속도는 DM1, DH1, DM3, DH3, DM5, DH5 각각에 대해 108.8, 172.8, 387.2, 585.6, 477.8, 723.2 kbps 이다. 패킷 길이가 다르다면 전송 효율은 낮아도 전송 속도는 높을 수 있다. 이것은, 패킷에 저장되는 사용자 유료 부하가 달라지며 그 정도가 패킷 길이에 비례하는 것이 아니기 때문이다. 패킷당 전송 효율 비교의 일관성을 위해 다음과 같이 근사적으로 슬롯당 전송 속도를 정의하였다.

$$\text{슬롯당 전송 속도} = \frac{\text{평균 전송 속도} \times \text{전송 효율}}{\text{패킷의 슬롯 개수}}$$

시분할 양방향 전송 방식을 사용하는 블루투스의 경우, 여러 개의 슬레이브

장치가 동시에 데이터 전송을 할 때 마스터 장치는 각 타임 슬롯을 효율적으로 사용할 필요가 있으며, 위와 같이 슬롯당 전송 속도를 지표로 사용할 수 있을 것이다.

2.3.2 L2CAP/RFCOMM/PPP 연결을 통한 메시지 전송

랜 액세스프로파일에 따라 구현된 블루투스 랜 액세스 포인트(ETRI-AP)와 단말기는 PPP연결을 맺은 후, ETRI-AP가 제공하는 NAT 서비스를 이용해 인터넷에 연결하였다. ETRI-AP는 이더넷을 통해 인터넷 망에 연결되어 있다.

인터넷에 연결 된 후 단말기 측에서 FTP 서버에 파일 전송을 요구하고, 파일이 전송되는 총 시간을 측정하여 전송 속도를 계산하였다. 표 3은 PPP연결을 통한 FTP 데이터 전송 속도 및 효율을 나타낸다.

이 FTP 데이터 전송은 인터넷 프로토콜에서 블루투스와는 독립적으로 오류 제어를 하지만, 측정에 사용된 FTP 서버와 ETRI-AP는 동일한 네트워크에 있고 물리적으로 인접해 있기 때문에 TCP/IP의 전송 제어로 인한 지연은 무시하였다. 이와 관련해서는 2.3.3에서 다룬다.

표 3 PPP연결을 통한 ACL 데이터 전송

거리	패킷	평균 전송 속도(kbps)	전송 효율	슬롯당 전송속도
0.5 m	DM1	95.024	0.873	82.992
	DH1	123.472	0.715	88.225
	DM3	215.008	0.555	39.797
	DH3	208.736	0.356	24.801
	DM5	268.304	0.562	30.133
	DH5	257.168	0.356	18.290
2m	DM1	94.896	0.872	82.769
	DH1	125.120	0.724	90.596
	DM3	221.120	0.571	42.092
	DH3	237.840	0.406	32.199
	DM5	264.912	0.554	29.376
	DH5	256.160	0.354	18.147
3m	DM1	92.556	0.850	78.673
	DH1	118.322	0.685	81.050
	DM3	219.102	0.566	41.337
	DH3	205.722	0.351	24.069
	DM5	259.884	0.544	28.275
	DH5	250.168	0.346	17.312
4m	DM1	90.064	0.828	74.554
	DH1	111.072	0.643	71.395
	DM3	216.272	0.559	40.267
	DH3	184.208	0.315	19.315

10m	DM5	256.336	0.536	27.504
	DH5	224.128	0.310	13.892
	DM1	60.002	0.551	33.088
	DH1	86.561	0.501	43.360
	DM3	130.804	0.338	14.729
	DH3	127.366	0.217	9.233
	DM5	182.161	0.381	13.889
	DH5	136.802	0.189	5.175

표 3에 나타나듯이 고정된 패킷에 대해 거리가 멀어질수록 전송 속도 및 효율이 떨어지며, 이 경향은 패킷 길이가 길어질수록 심해진다. 또한 전송 에러를 유발할 수 있는 주위 노이즈 영향 때문에 장치간 거리가 미터 단위 이상 떨어져 있을 때는 DH1을 제외하고는 모두 DM패킷이 나은 성능을 보인다. 다수의 슬레이브가 연결되어 각 장치들이 데이터 전송을 시간에 따라 공유할 경우 한 타임 슬롯당 데이터 전송 속도가 높을수록 그 동작이 원활할 것이다. 그림 2에서 나타나듯이 대부분의 측정 환경에서 DH1 패킷이 하나의 타임 슬롯당 전송 속도가 가장 높게 나타난다.

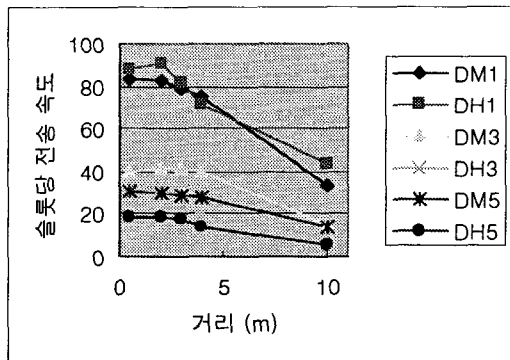


그림 2. 거리에 따른 슬롯당 전송 속도

2.3.2 L2CAP 레이어 간의 ACL 데이터 통신

RFCOMM 및 PPP에서 발생하는 불필요한 프로토콜 오버헤드를 줄이는 방법으로 L2CAP 층 사이에서 바로 데이터를 송수신 하였다. 이러한 구조는 블루투스 PAN 프로파일에서 볼 수 있는 것으로 BNEP (Bluetooth network encapsulation protocol)을 사용하여 구현된다. RFCOMM/PPP를 통한 인터넷 접속은 프로토콜 레이어 사이의 MTU (Maximum Transmission Unit)이 BNEP의 그것보다 훨씬 작기 때문에 (약1/6) L2CAP을 통한 데이터 전송이 RFCOMM/PPP를 통하는 데이터 전송보다 훨씬 빠르다[4].

본 측정에서는 BNEP의 구현보다 ACL 링크 상태에 따른 패킷 변화 및 그 성능에 초점을 맞추었기 때문에, L2CAP의 MTU를 RFCOMM/PPP와 동일하게 설정하여 관찰하였다. 그 결과 1 슬롯 패킷은 약 10%, 3 슬롯 패킷은 약 24%, 5 슬롯 패킷은 약 31%의 속도 향상을 보였다.

3 결론

이상으로 블루투스 ACL 패킷 중에서 DM1, DM3, DM5, DH1, DH3, DH5의 데이터 전송 성능에 대해 알아보았다. ACL 패킷의 에러 정정 적용 여부에 따라 DM과 DH 패킷으로 나누어지며 ACL 링크의 상태에 따라 베이스밴드나 호스트 프로토콜 스택에서 전송 패킷의 종류를 선택적으로 바꿀 수 있다. 다수의 블루투스 장치와 동시에 통신을 해야 하는 액세스 포인트의 경우, 연결된 슬레이브 장치에 데이터 송신을 원활하게 하기 위해서는 특정 슬레이브와의 ACL 링크의 상태만으로 패킷 유형을 결정할 수 없는 문제가 있으며, 상태가 좋은 ACL 연결을 선점한 슬레이브가 마스터를 독점하는 경우가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 구현된 블루투스 액세스포인트와 단말기 사이의 데이터 송수신을 직접 측정하고, 측정 결과로부터 각 패킷 유형당 전송 효율 및 블루투스 타임 슬롯 당 전송 속도를 계산하였다. 그 결과, DH1 패킷을 사용하여 ACL 데이터 전송을 할 경우가 좋은 전송율을 보였다. 표 3에서 나타나듯이 패킷의 길이가 길어질수록 주위 환경에 영향을 받아 송수신의 오류가 많아지며, 이는 다시 패킷의 재전송으로 이어져 전송효율이 급격히 떨어진다. 반면 하나의 타임 슬롯을 사용하는 DM1, DH1 패킷은 전송오류가 상대적으로 적어 전송 효율은 높지만 패킷에 포함된 사용자 유료 부가가 적어서 전체적인 전송 속도는 낮다. 일대일 통신일 경우에는 길이가 긴 패킷을 사용하여 전체적인 전송 속도를 높이는 설정이 좋을 것이나[5], 다수의 슬레이브가 동시에 한 블루투스 장치를 사용하는 액세스포인트의 경우에는 전체 전송 속도는 낮을지라도 슬롯당 전송 속도가 높은 DM1, DH1 패킷을 사용하는 것이 시스템 성능을 유지하는데 도움이 될 것이다.

또한, 긴 패킷을 사용하는 경우에 환경의 영향으로 전송 에러가 커지면 베이스밴드 연결은 유지되면서 온전한 데이터는 전송되지 않는 경우가 발생할 수 있다. 단말기가 1/3 FEC 및 ARQ로 보호되는 액세스코드는 인식을 하지만, 유로 부하를 복원하지 못함으로써 재전송을 계속 요구하여 블루투스의 버퍼가 가득 차버리는 현상인데, 이러한 문제점은 블루투스 규격1.1에 내재된 것으로 베이스밴드 및 호스트 프로토콜 스택에서 처리해야 하는 예외적인 상황이다. 이 경우 강제적으로 버퍼를 비우면 되나 단말기와의 연결은 끊어진다. 본 측정 실험 중에 DH5 패킷을 이용할 때 아주 드물게 관찰된 현상인데, 1 슬롯 패킷인 DM1이나 DH1을 사용했을 때는 이러한 현상이 보이지 않았다.

블루투스 시스템에서 ACL 전송 패킷을 선택함에 있어서, 전송 효율이나 전송 시간을 기준으로 할 수도 있고 블루투스 타임 슬롯당 전송 속도를 기준으로 할 수 있다. 일대일 통신 등의 극히 제한된 환경에서는 전송시간에서 장점을 보이는 DM3,5 및 DH3,5 패킷이 유리하겠으나 액세스포인트처럼 다수의 슬레이브와 동시에 통신을 해야 하는 경우에는 블루투스 타임 슬롯당 전송 속도가 기준으로 더 적합할 것으로 생각된다. 앞으로의 연구과제는 블루투스 패킷 전송 때 일어나는 BER (Bit error rate), PER (Packet error rate)등을 고려하여 해석적인 모델을 만들고, 이를 기초로 블루투스 무선 연결의 패킷 전송 알고리즘을 구현해 보는 것이다.

블루투스 ACL 패킷의 성능 분석
한국통신학회논문지 '01-9 Vol.26, pp. 1465
1474, 2001

4 참고문헌

- [1] Specification of the Bluetooth System, Core, v1.1, Feb 2001.
- [2] Data sheet and technical email communication with the Bluetooth chip vendor
- [3] Das, A., *et al.*, Adaptive Link-level Error Recovery Mechanisms in Bluetooth, Personal wireless communications, 2000 IEEE International conference on, pp.85-89, 2000
- [4] 김명규, 블루투스 프로토콜의 설계 및 구현, 추계 종합 학술 발표회 논문집, pp.1036-1039, 2000
- [5] 박홍성, 정명순, 무선 링크에서의