

碩士學位論文

블루투스 ACL 링크에서 효율적인
데이터 및 음성 전송 기법



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

濟州大學校 大學院

通信工學科

金昌胤

2002 年 12 月

블루투스 ACL 링크에서 효율적인
데이터 및 음성 전송 기법

指導教授 林 載 允

金 昌 胤

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



金昌胤의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 金 興 洙 印
委 員 梁 斗 榮 印
委 員 林 載 允 印

濟州大學校 大學院

2002年 12 月

The efficient data transmission and the voice
transmission method in Bluetooth ACL links

Chang-Yun Kim
(Supervised by professor Jea-Yun Lim)

A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirement for the degree of Master of Science
2002. 12.

This thesis has been examined and approved.

Thesis director, Heung-Soo Kim, Prof. of Telecom. Eng.

(Name and signature)

Date

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

Abstract	1
I. 서론	2
II. 패킷구조	4
1. 접속 코드	5
2. 패킷 헤더	6
3. 페이로드	7
III. 프로토콜 스택 및 응용프로그램 구현	9
1. 프로토콜 스택	9
2. 응용프로그램 구현	12
IV. 링크관리를 통한 데이터 전송 및 음성 전송 방법	17
1. 링크 품질 모니터링과 패킷 형태 조정	17
2. 패킷 형태와 데이터율	18
3. 정규열 크기와 데이터율	20
4. SCO 링크에서의 음성 전송	21
V. 실험 결과 및 분석	24
1. 링크 품질에 따른 데이터율	25
2. 정규열 크기에 따른 데이터율	28
3. 링크 품질과 정규열 크기를 고려한 데이터율	32
4. ACL 링크에서의 음성 전송	34
VI. 결론	38
참고문헌	40

Abstract

Bluetooth is a communication protocol that supports the voice and the data transmission services through a wireless personal area network. Bluetooth specification defines that the voice transmission is used in SCO links and the data transmission is used in ACL links. As Bluetooth is a limited system, it is required to manage the network efficiently. It is very important to use appropriate packets that are given according to channel quality in ACL links that occupy most part of links. In SCO links, the 64kbps transmission speed can make the voice transmission such as cellular phone. But SCO links are not suitable for the audio transmission of high quality for listening to music. Thus, the research in this is needed.

In this paper, not only the efficient data transmission but also the voice transmission method are proposed in Bluetooth ACL links. In order to test the data transmission, Bluetooth application program is implemented based on the host protocol stack. By the HCI command on Bluetooth application program, the ACL packet types are changed and the link quality values are confirmed in several environments and the data rates are analyzed. Also the data rates are analyzed by the regular stream size. From the analyzed result, the efficient data transmission method is proposed. To test the voice transmission, the Bluetooth test board and the DSP test board have been used. The Bluetooth test board took charge of the role which set up the ACL link and transmitted/received the data, the DSP test board took charge of the role which generated and outputed the voice data. Transmission/Reception of the voice data is tested in real time by using common buffer on the each application program. As the result of this experiment, the voice transmission with high quality is confirmed in ACL link.

I. 서론

블루투스는 근거리 무선 인터페이스를 통하여 음성 및 데이터 전송 서비스를 지원하는 통신 프로토콜이다. 블루투스 기술은 모든 디지털 제품들에 저가의 블루투스 칩을 넣어서 사용자가 장치를 연결할 필요 없이 적은 전력소모로 근거리에서 있는 장치들이 자동으로 동기를 맞추게 하는 것을 목표로 하고 있다.(Miller and Brent A, 2000)

블루투스는 10m이내(옵션100m)의 좁은 활동 반경을 갖는 저 전력 무선 통신 시스템으로 2.4GHz 대역을 사용하여 최대 1Mbps의 데이터를 전송할 수 있다. 이렇게 제한된 시스템에서는 효율적인 네트워크 관리가 필요하다. 블루투스는 음성이나 오디오와 같은 지연 시간에 민감한 데이터 통신과 고속이면서 지연시간에 덜 민감한 패킷 데이터 통신을 가능하게 한다. 이와 같이 블루투스 무선 장치간에는 데이터 전송을 위해 두 가지 서로 다른 종류의 링크가 있다. 즉, 동기화 전송(SCO, synchronous connection oriented) 링크와 비동기화 전송(ACL, asynchronous connection less) 링크이다. SCO 링크는 음성과 같은 시간 종속 데이터 전송에 사용하는 동기화 링크이고, ACL 링크는 패킷 기반의 데이터 전송에 사용하는 비동기화 링크로서 링크의 대부분을 차지한다. 그러므로 링크의 대부분을 차지하는 ACL 링크에서 채널의 품질에 따라서 주어진 패킷을 효율적으로 사용하는 것은 매우 중요한 문제이다. ACL 데이터 패킷은 72비트 접속코드, 54비트 패킷 헤더와 페이로드(payload)에 16비트 CRC(cyclic redundancy checking) 코드가 더해져서 구성된다. 그리고 전송될 데이터 양에 따라 여러 가지 패킷 형태가 결정된다.(Nathan J. Muller, 2001)(주민철, 2001. 7)

SCO 링크는 64kbps로 동작하여 한 번에 세 개의 전-이중(full-duplex) 음성 링크를 가질 수 있거나 음성과 데이터를 혼합하여 전송할 수도 있다. 이들 음성채널은 현재 이동 셀룰러폰으로부터 기대되는 양질의 음성 통신을 가능하게 해준다. 그러나 SCO 링크는 음악감상을 할 정도의 양질의 오디오 전송에는 적합하지 않다. 그래서 음악전송을 지원하기 위한 방법으로 음성 전송용 ACL 채널에 대한 연

구가 이루어지고 있다. 음악 오디오는 1411.2kbps의 데이터 전송율이 필요하다. MP3(MPEG계층3오디오)와 같은 데이터 압축 기술을 사용하면, 비트율을 약 128kbps로 줄일 수 있으며 오디오의 전송 상 지연 시간 조건이 유지되는 한 거의 생음악에 가까운 양질의 오디오를 전송할 수 있다.(Jennifer Bray and Charles F Sturman, 2001)

본 논문에서는 블루투스 ACL 링크에서 패킷 형태와 링크 품질에 따른 데이터율과 패킷형태와 정규열(regular stream)의 크기에 따른 데이터율을 고려하여 효율적인 데이터 전송 기법을 제안하고, 더 좋은 음질을 제공하기 위해 SCO 링크가 아닌 ACL 링크에서 음성 전송 기법을 제시하고자 한다. 이를 위해 블루투스 모듈을 제어하고, 모든 어플리케이션을 수행하기 위한 호스트 프로토콜 스택을 기술한다. 그런 다음 호스트 프로토콜 스택을 기반으로 하여 응용프로그램을 구현한다. 블루투스 응용프로그램을 이용하여 파일 전송 시 HCI 명령을 통해 링크 품질을 측정하고 패킷 형태와 정규열을 제어하고, 데이터율을 측정하여 비교 검토한다. 또한, 블루투스 테스트 보드와 DSP 테스트 보드를 각각 시리얼 포트(RS232)와 USB(universal serial bus) 포트를 통해 제어하고, 각 응용프로그램을 이용하여 ACL 링크에서 음성 전송 방법을 테스트를 통하여 제시하고자한다.

본 논문의 구성으로는 II장에서 블루투스에서 ACL 링크와 SCO 링크를 따라 통신하는데 사용되는 다른 형태의 패킷을 소개한다. III장에서는 블루투스 프로토콜 스택 구조를 설명하였고 호스트 프로토콜스택을 기반으로 응용프로그램을 구현한다. IV장에서는 링크관리를 통한 효율적인 데이터 전송방법을 기술하고, 블루투스 SCO 링크에서의 음성전송 방법을 설명한다. V장에서는 링크 품질과 정규열 크기에 따른 데이터율을 측정 분석하여 효율적인 데이터 전송기법을 제안하고 SCO링크가 아닌 ACL 링크에서의 음성 전송 기법을 제시한다. 마지막으로 VI장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 패킷구조

데이터는 동기와 비동기 방식의 형태로 전송이 가능하다. 동기화 전송 방법은 음성 전송에 주로 사용되고 비동기화 전송은 데이터 전송에 주로 사용된다. ACL 링크는 데이터가 산발적으로 교환되고 스택 상위에서 이용될 때 패킷 교환 접속을 제공하고, SCO 링크는 데이터가 규칙적으로 교환되는 회선 교환 접속을 제공한다. 이 장에서는 기기간 ACL과 SCO 링크를 따라 통신하는데 사용되는 다른 형태의 패킷을 소개한다.

Table 1. Packets defined for SCO and ACL link types

Segment	TYPE code $b_3b_2b_1b_0$	Slot occupancy	SCO link	ACL link
1	0000	1	NULL	NULL
	0001	1	POLL	POLL
	0010	1	FHS	FHS
	0011	1	DM1	DM1
2	0100	1	undefined	DH1
	0101	1	HV1	undefined
	0110	1	HV2	undefined
	0111	1	HV3	undefined
	1000	1	DV	undefined
	1001	1	undefined	AUX1
3	1010	3	undefined	DM3
	1011	3	undefined	DH3
	1100	3	undefined	undefined
	1101	3	undefined	undefined
4	1110	5	undefined	DM5
	1111	5	undefined	DH5

Table 1은 블루투스 모든 링크에서의 패킷을 정의한 것으로서 segment 1에 해당하는 4개의 제어 패킷은 모든 링크에서 공통으로 사용된다. 4개의 segment는 슬롯의 수에 따라 나누어진다.(Bluetooth Special Interest Group, 1999)

Fig. 1에 나타낸 것처럼 구성 성분에 따라 접속 코드, 패킷 헤더, 페이로드로 나눈다.

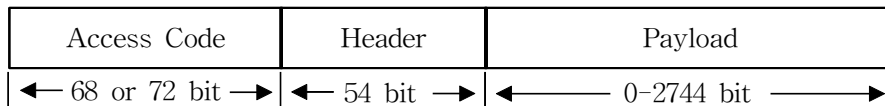


Fig. 1. Bluetooth packet structure

1. 접속 코드

접속 코드는 수신된 신호와 정합을 통하여 마스터가 속한 피코넷(piconet) 내의 패킷을 검출하는 역할을 한다. Fig. 2는 접속 코드의 구조를 나타낸 것이다. 접속 코드의 첫 부분은 4비트의 프리앰블(preamble)로서 수신된 데이터의 가장자리를 검출하는데 사용된다. 프리앰블은 sync word의 첫 비트에 따라 0101이거나 1010인 고정 시퀀스가 된다. 패킷 헤더 다음에 페이로드가 사용될 때에만 접속 코드의 마지막 부분에 4비트 트레일러(trailer)가 붙는다. 트레일러는 sync word의 마지막 비트에 따라 결정되고, DC 임계값과 클럭 복구를 더 정확하게 하는데 사용된다.

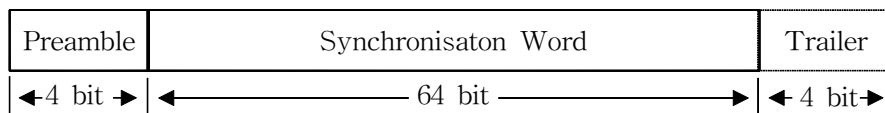


Fig. 2. Access code structure

sync word는 24비트 주소(LAP:low address part)에서 얻어진 64비트 코드 워드이다. 즉, 마스터 인자의 LAP에 의해 sync word가 결정된다. 이 구조는 다른 LAP에 기반을 둔 sync word사이의 커다란 해밍(hamming) 거리를 보장한다. 게다가 sync word의 좋은 자기상관(autocorrelation) 특성은 타이밍 동기화 과정을 개선시킨다.

2. 패킷 헤더

패킷 헤더는 18비트의 정보를 포함하며, 이 정보는 1/3 FEC(forward error correction) 코드로 보호를 받아 길이가 54비트가 되고 패킷과 관련된 모든 제어 정보를 포함한다. 각 필드는 링크 제어 프로토콜과 링크의 정확한 동작에 중요하기 때문에 이러한 높은 수준의 부가정보 코딩 오버헤드(overhead)가 이용된다. Fig. 3은 패킷 헤더의 구조를 나타낸 것으로 그 역할은 다음과 같다.

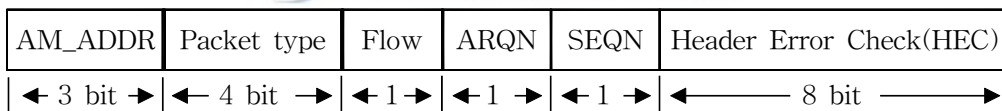


Fig. 3. Packet header structure

1) AM_ADDR(active member address)

호출 프로세스동안 마스터는 피코넷 내에서 동작중인 슬레이브에게 AM_ADDR을 지정한다. 이 주소는 패킷이 보내질 특정한 슬레이브를 구분하기 위해 사용된다. AM_ADDR이 0이면 마스터가 모든 슬레이브로 보낸 방송 패킷임을 의미한다.

2) Packet Type

패킷 형태는 패킷에 의해 전달할 수 있는 트래픽의 종류와 페이로드에 사용되는

오류 정정의 종류, 그리고 페이로드가 지속되는 슬롯의 수를 정의한다.

3) Flow

장치의 수신 버퍼가 비어있지 않아 더 이상의 데이터를 수신할 수 없을 때 장치가 선언하는 플래그(flag)이다.

4) ARQN과 SEQN

ARQN 플래그는 다음의 CRC 타당성을 판단하여 이전의 수신에 성공적으로 이루어졌음을 가리킨다. 그러나 ARQN이 복귀한 헤더의 실패로 인하여 손실되었을 때 원래 데이터를 송신한 송신기는 부정 응답(NAK) 조건으로 가정하여 첫 번째 패킷을 다시 재 전송한다. SEQN 플래그는 새로운 패킷이 송신될 때마다 토글(toggle) 된다. 패킷의 재 전송이 있을 경우, 수신측은 SEQN 플래그가 불변한 두 개의 동일 패킷을 확인하여 SEQN 플래그가 변할 때까지 두 번째 패킷과 그 이후의 모든 패킷을 무시하게 된다.

5) HEC(header error check)

HEC 필드는 단지 8진수로 생성 다항식 647로 표현된 헤더상에서 수행되는 CRC 함수이다. 수신측이 다음 HEC의 실패에 따라 패킷의 나머지 부분을 무시하도록 허용한다.

3. 페이로드

1) ACL 페이로드

페이로드는 L2CAP(local link control adaptation protocol)나 LM(link manager)으로부터 보내지는 메시지일 때는 실제 메시지 정보를 포함하고, 스택에 저장된 실제 데이터일 때는 데이터를 포함한다. 모든 ACL 패킷의 페이로드 필드는 Fig. 4

와 같이 페이로드 헤더, 페이로드 데이터 자체, CRC 필드 등 3부분으로 나누어진다. 페이로드 헤더 필드는 한 슬롯일 경우는 1byte이고 다중 슬롯일 경우는 2byte가되며 논리적 링크 제어 정보를 포함한다. 실제 데이터 전송에는 DM과 DH 형태의 패킷만을 사용하며 CRC 필드는 항상 필요하다.

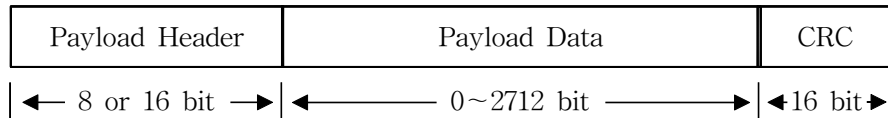
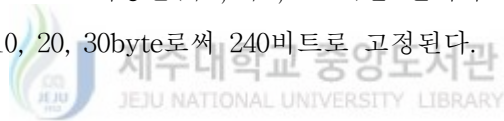


Fig. 4. ACL payload structure

2) SCO 페이로드

흐름제어와 재전송이 SCO 링크에 적용되지 않기 때문에 흐름 플래그와 ARQ, SEQ 필드가 중복되지만, SCO 패킷의 페이로드에는 CRC 필드가 존재하지 않는다. 페이로드 길이는 FEC 사용율(1/3, 2/3, none)을 선택하는 패킷 형태에 따라 원래 데이터 길이가 10, 20, 30byte로써 240비트로 고정된다.



Ⅲ. 프로토콜 스택 및 응용프로그램 구현

본 장에서는 블루투스의 기술의 핵심이라고 할 수 있는 프로토콜 스택을 살펴보고 호스트 프로토콜 스택을 바탕으로 블루투스 기기간에 여러 가지 테스트를 할 수 있는 응용 프로그램을 구현하였다. 본 논문에서는 구현된 블루투스 응용프로그램을 데이터 전송 테스트 및 음성 전송 테스트에 적용한다.

1. 프로토콜 스택

블루투스의 프로토콜 스택은 Fig. 5와 같다. 프로토콜 스택이란 하위계층에서부터 상위계층까지 쌓아올린 프로토콜의 집합이다.

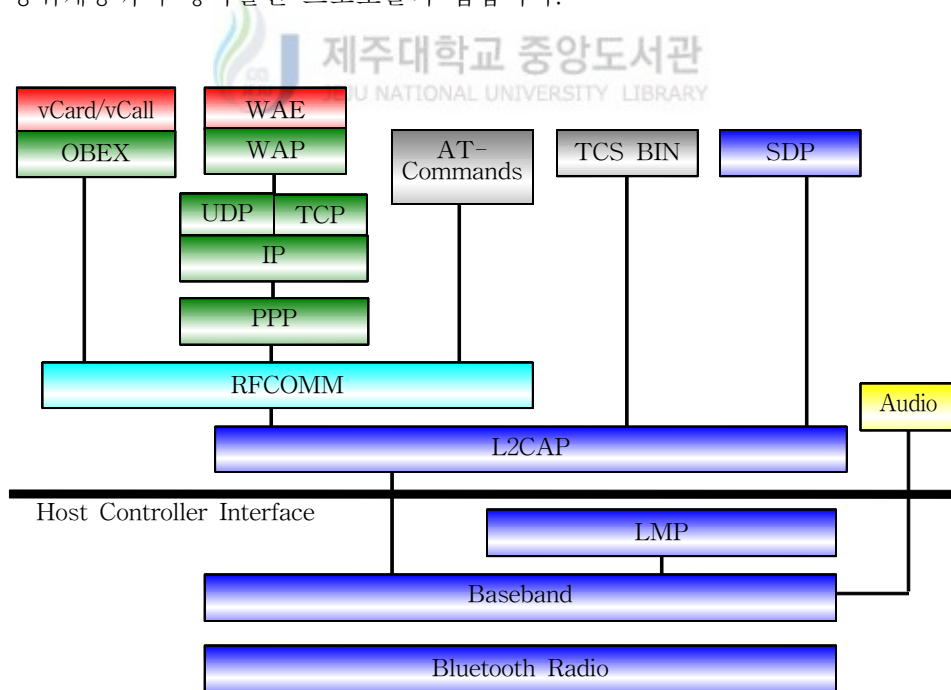


Fig. 5. Bluetooth protocol stack

프로토콜 스택은 HCI를 기준으로 호스트 컨트롤러 프로토콜과 호스트 프로토콜로 나눈다. 블루투스 모듈에 해당하는 호스트 컨트롤러 프로토콜은 베이스밴드, 링크 매니저 프로토콜이 펌웨어(firmware) 형태로 모듈 내부에 포함된다. 블루투스 하드웨어의 핵심이라 할 수 있는 베이스밴드는 펌웨어 형태의 소프트웨어에 의해 제어된다. HCI 호스트 컨트롤러는 블루투스 어플리케이션에서 내려오는 HCI 명령을 해석하고 링크 매니저와 연동해 적절한 명령을 수행하며 호스트에 적절한 메시지(event)를 보내주는 인터페이스를 담당하는 부분이다. 나머지 UART(universal asynchronous receiver and transmitter)와 USB 인터페이스 소프트웨어는 호스트와 데이터를 주고받는 인터페이스 하드웨어를 직접 컨트롤하는 부분으로, UART를 사용할 경우와 USB를 사용하는 경우에 따라 두 가지 인터페이스 소프트웨어가 들어가게 된다. 펌웨어 소프트웨어는 대부분 플래시 타입의 메모리에 저장돼 있다가 호스트에서 내려오는 명령을 받아 내부적으로 처리할 수 있으면 처리하고, 외부 RF로 보낼 필요가 있을 때는 링크 매니저에 의해 상대 기기에 명령을 송·수신한 후 결과를 호스트로 올려주게 된다.

호스트는 호스트 컨트롤러인 블루투스 모듈과 연결되어 블루투스 모듈을 제어하고 어플리케이션을 수행하는 곳으로 소프트웨어 부분에 해당된다. 그 종류는 시스템에 따라 달라질 수 있다. 호스트 컨트롤러 인터페이스는 소프트웨어 사양에 관련된 것으로 블루투스 하드웨어 모듈과 서로 주고받는 패킷의 포맷과 절차를 정의하고 있다. 즉, 블루투스 모듈이 이해할 수 있는 표준 포맷으로 데이터를 만들어 보내주고, 블루투스 모듈은 그 결과를 표준 패킷으로 만들어 호스트로 보내는 방법을 정의하고 있다. 예를 들어 일반적인 TCP/IP 네트워크에서 IP 패킷 포맷은 통신을 하는 상대방 컴퓨터가 어떤 종류이고 LAN 카드가 어떤 종류인지 몰라도 서로 데이터를 주고받을 수 있듯이 블루투스의 HCI도 누구나 이해할 수 있는 HCI 패킷을 정의함으로써 하드웨어 독립성을 강화했다.

L2CAP 레이어(layer)는 인터넷 프로토콜의 TCP 레이어와 거의 비슷한 역할을 한다. L2CAP는 HCI 레이어 바로 위에 위치하며 상위 프로토콜로 64kbyte까지의 데이터 패킷을 보내고 받을 수 있도록 해준다. 또한, 프로토콜 멀티플렉싱, SAR(segmentation and reassembly), QoS(quality of service), 그룹 전송의 기능을 수행한다. 프로토콜 멀티플렉싱이란 HCI를 통해 데이터가 들어올 때 어느 프로토

클 데이터인지를 구분하고 데이터에 적합한 프로토콜로 분배해주는 기능을 말한다. SAR은 L2CAP 상위 레이어에서 전달된 큰 데이터를 HCI 레이어에 전달할 때 작은 조각으로 잘라 전달하고, 반대로 HCI 레이어를 통해 들어오는 작은 데이터의 조각을 원래의 큰 데이터로 복구해 상위 레이어로 전달해 주는 기능을 한다. QoS는 신뢰성 있는 데이터 전송을 말하는 것으로 L2CAP는 커넥션을 확립할 때 QoS정보를 블루투스 기기 사이의 L2CAP에서 서로 주고받는다.

SDP(service discovery protocol)는 블루투스 기기가 제공하는 서비스 찾기 기능을 제공하는 프로토콜이다. SDP는 크게 SDP 클라이언트와 서버로 나뉜다. 모든 블루투스 기기는 기능에 따라 SDP 서버나 클라이언트 또는 두 기능 모두 포함하고 있어야 한다. SDP가 이렇게 클라이언트와 서버 구조를 가지고 있기 때문에 L2CAP와 마찬가지로 요구(request)와 응답(response)구조로 되어있다. SDP 클라이언트에서 어떤 요구를 보내면 서버가 응답하는 구조다. SDP 서버는 내부적으로 소속된 블루투스 기기가 제공하는 모든 서비스에 관한 정보를 포함하고 있는 데이터베이스 테이블을 갖고 있기 때문에 클라이언트가 어떤 요구를 하면 이 데이터베이스를 찾아서 답변을 해준다.

RFCOMM(radio frequency communications port)은 원래 GSM(global system for mobile communication)폰의 멀티플렉서(multiplexer)를 위해 고안된 ETSI(european tele communications standards institute)의 TS 07.10을 기반으로 한 것으로 RS232 9핀 시리얼 포트를 에뮬레이션 하는 역할을 담당한다. RFCOMM은 보통 두가지 형태의 기기에 이용된다. 첫 번째 형태는 두 개의 기기가 모두 통신상의 엔드 포인트(end point)가 되어 두 기기 사이에 블루투스 링크로 직접 연결이 되는 경우로 이런 경우를 'Type1 Device'라 한다. 두 번째 형태는 하나의 기기는 엔드 포인트이나 나머지 하나의 기기가 또 다른 네트워크의 일부인 경우이다. 이런 기기를 'Type2 Device'라고 하며 대표적인 경우가 모뎀(modem)이다. 그렇다고 두 개의 기기 타입이 각각 다른 형태의 프로토콜을 사용하는 것은 아니며, RFCOMM 프로토콜 자체는 어떤 타입의 기기인지에 대한 정보를 지니고 있지 않다. RFCOMM은 스펙상으로 동시에 60개의 포트를 열 수 있는 다중 에뮬레이션(multiple emulation)을 지원하며 각 포트는 DLCI(data link connection indentifier)라는 고유한 인자를 지니고 있다. 이러한 다중 에뮬레이션은 두 개의

블루투스 기기 사이에서 다중 시리얼 포트를 에뮬레이션 할 수도 있지만, 여러개의 블루투스 기기와 다중 시리얼 포트 에뮬레이션을 하는 것도 가능하다.

2. 응용프로그램 구현

본 장에서는 위에서 설명한 호스트 프로토콜 스택을 기반으로 하여 PC기반에서의 응용프로그램을 Fig. 6과 같이 구현하였다. 이 응용프로그램을 이용하여 기기의 초기화 설정, 조회, ACL 연결 설정, SCO 연결 테스트, 파일 전송, HCI 명령 테스트, 문자열 송·수신을 통한 채팅, UDP프로토콜에 의한 AP 기능 등을 수행할 수 있다. AP 기능은 완벽하지는 않지만 간단한 문자열은 전송이 가능하다.

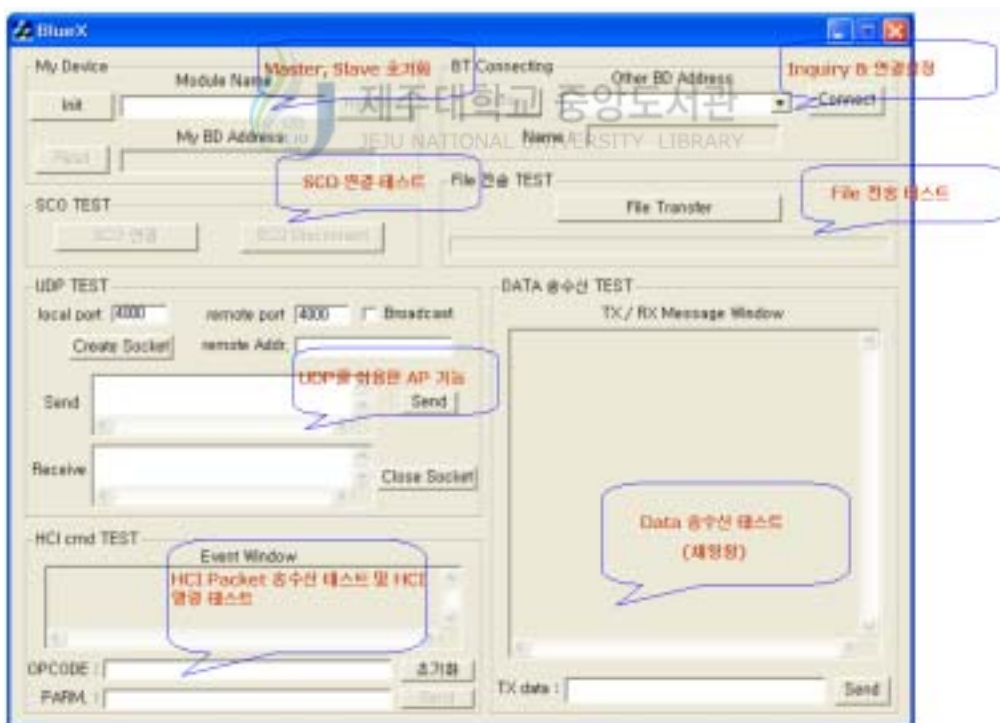


Fig. 6. Bluetooth application program window

1) 초기화 설정

초기화 설정은 Fig. 6에서 init 버튼을 눌렀을 때 수행되고 각 기기가 마스터 혹은 슬레이브로 동작을 위한 기본적인 설정을 하게된다. 이 때 기본적인 HCI 명령을 수행함과 동시에 각 기기는 동작 준비 상태로 들어가게 되고, 초기화 설정이 완료 시에는 fig.7과 같이 ShutDown으로 표시가 바뀐다. 이 때 로컬(local) 기기의 이름을 표시해 주고, Rename 버튼을 사용하여 로컬 기기의 이름을 변경시킬 수 있으며 자신의 BD(Bluetooth device) Address를 읽을 수 있게 해준다.

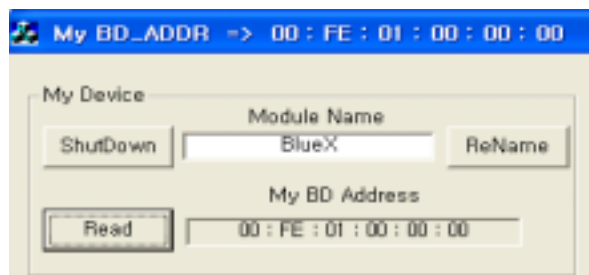


Fig. 7. Initialization

2) 조회

조회는 마스터로 동작하는 한 기기가 유한 영역에서 모든 블루투스 장치를 발견하고자 시도하는 과정이다. inquiry 버튼을 눌렀을 때 “HCI inquiry” 명령을 수행함으로써 동작이 이루어지는데, inquiry 시간은 12.8sec로 설정하였고, 이 시간 내에서 유한 영역 내에 있는 상대 기기들을 찾는다. 이 때 발견한 모든 상대 기기의 이름과 BD Address를 읽어서 보여준다.

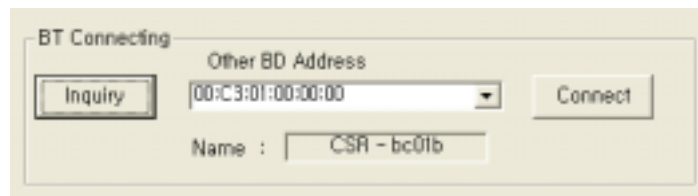


Fig. 8. Inquiry

3) 연결 설정

inquiry를 통해 찾은 상대 기기들 중 하나를 선택하여 Connect 버튼을 눌렀을 때 Create Connection 명령을 수행하게되며 링크 매니저를 통해 블루투스 기기에 연결을 설정 할 수 있도록 한다. 즉, 호출 과정을 시작하도록 한다. 이런 과정에서 상대 기기와 ACL 연결을 설정하고 두 기기간의 통신이 가능한 상태가 된다. Fig. 9에 보여진 것처럼 연결 설정이 완료되면 connect 버튼이 연결된 상태로 바뀐다. 이렇게 연결된 상태에서는 로컬 기기와 상대 기기에서 데이터 전송 및 문자열 전송과 같은 통신이 양방향에서 가능하게된다.

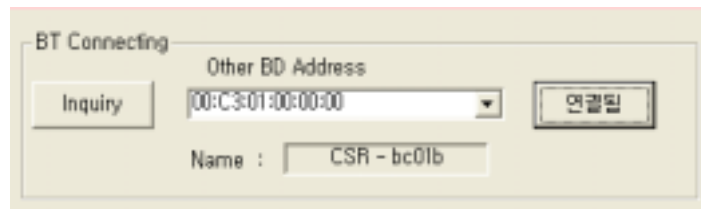


Fig. 9. Connection

4) SCO 연결 테스트

블루투스 기기는 먼저 ACL 링크를 설정한 후 SCO 링크가 설정된다. ACL 연결 설정이 완료된 후, Fig. 10에 보여진 것처럼 SCO 연결 버튼을 눌러 Add SCO Connection 명령을 수행함으로써 상대 기기와 SCO 연결을 설정할 수 있다. 이 명령어의 파라미터들은 SCO 연결에 사용될 패킷형태를 지정한다. 또한 SCO Disconnect 버튼을 누르면 SCO 연결이 해제되며 ACL 링크로 되돌아간다.

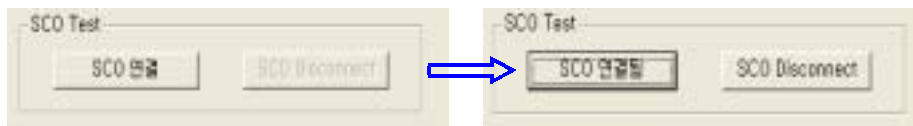


Fig. 10. SCO link connect and disconnect

5) 파일 전송

Fig. 11와 같이 송신측에서 File Transfer 버튼을 사용하면 두 기기간에 데이터 파일 전송이 가능하고 수신측에서는 파일 전송 완료 메시지를 보이고 텍스트 형식으로 파일을 저장할 수 있다.



(a) transmit

(b) receive

Fig. 11. File transmit/receive

6) 문자열 송·수신

Fig. 12은 블루투스 기기간에 문자열 송·수신을 통하여 채팅의 형태를 보여 준다. 마스터 기기에서는 주변의 모든 슬레이브 기기와 문자열 전송이 가능하다.



Fig. 12. Character string transmit and receive

7) HCI 명령 테스트

호스트로부터 16진수 형태의 HCI 명령 패킷이 주어지면 이에 대한 응답으로서 모듈로부터 16진수 형태의 이벤트 패킷을 호스트로 보내어 기기의 동작 상태를 확인한다. 이 때, Fig. 13에 보여진 것처럼 창에 나타나는 명령 패킷과 이벤트 패킷의 파라미터 값을 분석하여 모듈의 상태를 확인할 수 있다.

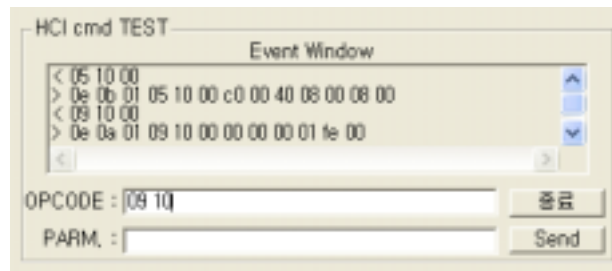
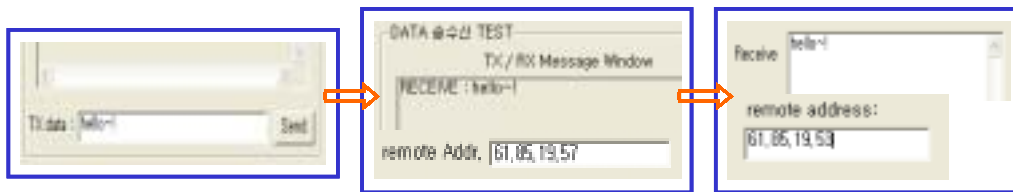


Fig. 13. HCI command test

8) UDP 프로토콜에 의한 AP기능

송신측 블루투스 기기가 간단한 문자열을 보냈을 경우, 수신측 기기는 문자열을 받아서 UDP 프로토콜을 사용하여 IP망을 통해 상대의 PC로 전송된다. 여기서 수신측 기기는 AP로서의 기능을 담당한다고 할 수 있다.



(a) local Bluetooth device

(b) Bluetooth AP

(c) remote PC

Fig. 14. AP function by UDP protocol

IV. 링크관리를 통한 데이터 전송 및 음성 전송 방법

블루투스 규격은 상위 계층의 응용 또는 프로토콜의 요청에 따라 링크의 특성을 허용하는 QoS 구성을 제공한다. QoS를 얻는 것은 요구 데이터율과 지연 분산 그리고 신뢰성을 얻는 것을 의미한다. 링크 매니저는 패킷 형태 선택, 폴링 간격 설정, 버퍼 할당, 링크에 대역폭 할당, 그리고 조회 수행 여부의 결정을 포함하는 여러 가지 방법에 의한 QoS 능력을 제공한다.

일반적으로 블루투스 음성 데이터는 A-law과 μ -law을 사용한 로그 PCM 부호화 방식이나 CVSD(continuous variable slope delta modulation) 부호화 기법을 사용하여 SCO 채널을 통하여 전달된다. SCO 링크에서 음성은 셀룰러폰에는 음성 지원이 가능하나 음악 오디오와 같은 양질의 음성을 지원하는 방법으로는 ACL 링크를 사용해야한다.

이 장에서는 링크 매니저의 역할을 통해 데이터 전송에 대한 효율성 여부와 신뢰성 있는 관리가 이루어질 수 있는가에 대한 방법을 기술하고, SCO 링크에서 음성 전송 방법에 대해 설명한다.

1. 링크 품질 모니터링과 패킷 형태 조정

블루투스 규격은 장치들의 링크 오류에 따라 자동적으로 DM(data medium rate)과 DH(data high rate) 패킷 형태 사이를 스위칭하는 메커니즘을 제공한다. 가장 간단한 메커니즘은 각 장치가 링크를 감시하는 것이다. 만약 장치가 DH 패킷을 사용함으로써 인해 링크에서 높은 BER(bit error rate)이 발생되면 장치는 DM 패킷을 전송하도록 스위칭 한다. 만약 DM 패킷을 사용할 때 좋은 링크를 발견하면 다시 DH 패킷으로 스위칭을 되돌린다. 그렇지만 무선 수신기의 품질은 장치간 매우 크게 변화될 수 있다. 이것은 다른 쪽 장치가 매우 높은 오류를 갖는 동안

한쪽 장치는 채널에서 적은 오류를 갖도록 할 수 있다.

DM과 DH 패킷 중 적절한 패킷 형태를 선택하기 위해서 링크 매니저는 링크의 품질에 대한 정보가 필요하다. FEC와 HEC는 블루투스 프로토콜 스택의 베이스밴드 부분에 의하여 처리된다. 베이스밴드는 역시 재송신을 관리한다. 링크 매니저는 DH 패킷 또는 DM 패킷 형태사이에서 스위치 여부를 결정하기 위해서 베이스밴드에서의 오류율과 재 송신된 패킷 양에 대한 정보를 얻을 수 있어야한다.

링크 품질에 대한 정보를 얻기 위한 방법으로 HCI는 링크 품질의 모니터에 도움을 주기 위하여 Get Link Quality 명령어를 제공한다. 이 명령어를 통해 링크 품질 값을 추출할 수 있고, 링크 품질 값은 0과 FF 사이의 수로서 높은 값일수록 높은 링크 품질을 갖는다. 링크 품질 값에 대한 계산은 각 구현에서 결정되고, 이 값은 링크의 BER을 반영하는데 사용될 수 있다. “HCI Change Connection Packet Type” 명령을 사용하여 패킷 형태를 조정할 수 있다. 이는 데이터율과 BER을 고려하여 효과적인 패킷 형태로 바뀌는데 사용된다.

2. 패킷형태와 데이터율



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 2는 블루투스에서 정의된 ACL 링크의 패킷 종류이다. ACL 링크에서 패킷은 페이로드 데이터 중요도에 따라 2/3 FEC의 사용여부로 DM과 DH 패킷 형태로 나눈다. 데이터 페이로드에 대한 FEC 방식은 패킷의 재전송 횟수를 줄이기 위해 사용된다. ACL 링크에서 실질적인 데이터 전송은 DM 패킷과 DH 패킷이 사용된다. DM은 중간 데이터율을 나타내고, DH는 높은 데이터율을 의미한다. 단일 슬롯 패킷(DM1, DH1)에 비해 3개와 5개의 슬롯 패킷(DM3,5 DH3,5)은 많은 데이터를 운반한다. 비대칭 채널의 5슬롯일 경우 대기 중으로 최대 723.2kbps의 데이터율이 실현 가능하다. 그러나 Table 2에 주어진 데이터율은 전송될 수 있는 데이터의 최대 비트 수이고, 실질적으로 블루투스 기기에서는 일반적으로 이보다 데이터율이 낮다.

Table 2. ACL packet

Packet Type	Payload Header (bytes)	User Payload (bytes)	FEC	CRC	Symmetric Max.Rate (kbps)	Asymmetric Max. Rate (kbps)	
						Forward	Reverse
DM1	1	17	2/3	yes	108.8	108.8	108.8
DH1	1	27	None	yes	172.8	172.8	172.8
DM3	2	121	2/3	yes	258.1	387.2	54.4
DH3	2	183	None	yes	390.4	585.6	86.4
DM5	2	224	2/3	yes	286.7	477.8	36.3
DH5	2	339	None	yes	433.9	723.2	57.6
AUX1	1	0-29	None	None	185.6	185.6	185.6

블루투스에서는 링크 품질과 신뢰성 및 링크 오류를 감안하여 패킷 형태가 선택된다. 링크 품질 상태가 좋으면 데이터율이 좋은 DH형태의 패킷을 전송하는 것이 바람직하고, 링크 품질 상태가 좋지 않으면 오히려 재전송이 많은 슬롯이 할당되어야 하므로 2/3 FEC가 되어있는 DM형태의 패킷으로 전송하는 것이 효율적이다. 그리고 마스터에서 슬레이브의 패킷 형태를 선택한다.(Jennifer Bray and Charles F Sturman, 2001)

블루투스에서는 호스트의 HCI 명령을 통해 링크 품질을 체크할 수 있고, 링크에서 사용하는 패킷의 형태를 변화시킬 수 있다.

3. 정규열 크기와 데이터율

블루투스에서는 데이터 정규열의 크기에 따라서도 데이터율이 다를 수 있다. 예를 들어 20byte의 정규열이 DH1 패킷을 사용하여 RFCOMM, L2CAP, 그리고 HCI를 경유하여 송신된다고 가정하면 다음과 같이 데이터율이 계산된다. DH1 패킷은 1250μs 마다 한번 송신되기 때문에 매초 800 패킷을 전송할 수 있다. 그러므로 DH1 패킷의 최

대 데이터율은 $27\text{byte} \times 8 / 1250\mu\text{s} = 172.8\text{kbps}$ 이다. 실제 데이터는 RFCOMM 스택에서 1byte의 주소, 1byte의 제어, 1byte(또는 2byte)의 데이터 크기, 1byte의 FCS(Frame Check Sequence)를 정규열에 붙여 보내게 되고, L2CAP는 총 24byte의 패킷을 수신하여 여기에 2byte의 데이터 크기와 2byte의 채널 ID를 붙여 HCI로 넘기게 된다. 결국 HCI는 28byte를 수신하게 되는 것이고, DH1 패킷을 사용하므로 두 개로 분할하여 2500 μs 동안 전송하게 되므로 실제 데이터율은 $20\text{byte} \times 8 / 2500\mu\text{s} = 64\text{kbps}$ 가 된다. 즉, 최대 데이터율을 기준으로 37%까지 감소한다. Table 3은 RFCOMM을 이용한 전송으로 20byte 정규열 일 때의 데이터율을 나타낸다. 위의 예는 수치가 특별히 나쁠 때의 예로서 패킷 크기가 증가할수록 데이터율이 감소한다. 이것은 정규열의 크기가 데이터율에 미치는 영향을 말해주는 것이다.(Jennifer Bray and Charles F Sturman, 2001)

Table 3. Data rates for 20byte packet into RFCOMM compared with maximum rates on air

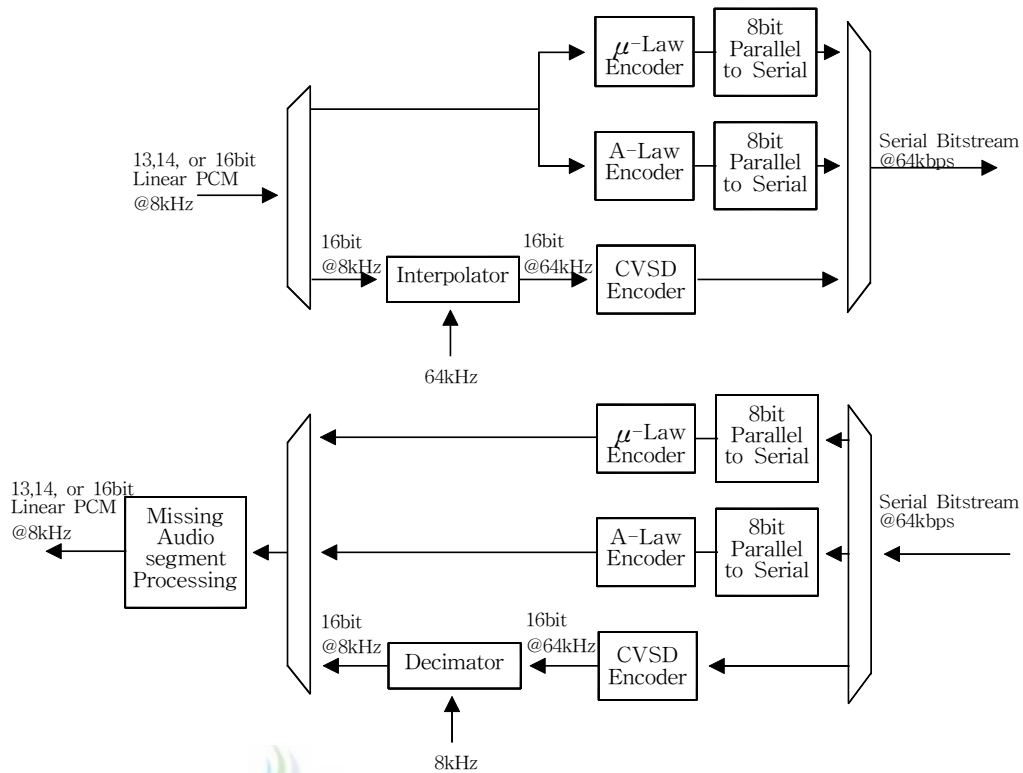
Packet type	Symmetric Rate (kbps)		Asymmetric Forward Rate (kbps)		Asymmetric Reverse Rate (kbps)	
	Max. Rate	20byte regular stream	Max. Rate	20byte regular stream	Max. Rate	20byte regular stream
DM1	108.8	64	108.8	64	108.8	64
DH1	172.8	128	172.8	128	172.8	64
DM3	258.1	43.3	387.2	64	54.4	32
DH3	390.4	42.3	585.6	64	86.6	32
DM5	286.7	25.7	477.8	42.7	36.2	21.3
DH5	433.9	25.7	723.2	42.7	57.6	21.3


다음 장에서 정규열 크기에 대한 실질적 실험 값들을 보이고 그것을 바탕으로 효율적 데이터율을 얻기 위한 방법을 제시한다.

4. SCO 링크에서의 음성 전송

SCO 채널은 세 개로 분할할 수 있으며 각 채널의 대역폭은 항상 64kbps이다. 왜냐하면, 각 채널에 대하여 n 비트인 새로운 패킷은 모든 T_{SCO} 슬롯마다 한번에 송·수신된다. 그러므로 초당 각 방향으로 지나는 비트 수는 $n \times 1 / T_{SCO} \times 2 / 1250 \mu s = 64,000 \text{ bit/second}$ 이다. 여기에서 HV3 패킷의 경우 $T_{SCO} = 6$ 이고 $n=240$ 이다. 전달되는 원시 데이터 양이 더 작은 SCO 패킷이 더 보호되어 있을 때 T_{SCO} 는 원래의 대역폭을 유지해야 한다. HV2 패킷(FEC=2/3)의 경우 $T_{SCO}=4$, $n=160$ 이고, HV1 패킷(FEC=1/3)의 경우 $T_{SCO} = 2$, $n=80$ 이다. 이것은 블루투스가 음성을 전달하는 기본 요구조건이다. 하지만 음성 트랜스코딩(transcoding)을 하기 전에 셀룰러 폰의 선형 PCM 오디오 대역폭은 104kbps이므로 SCO링크에서의 채널 대역폭 64kbps는 만족스러운 오디오 품질을 제공하지 않는다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 음성 부호화 기법과 오디오 부호화 기법을 사용한다. 오디오 부호화 기법을 사용하는 기본적인 이유는 블루투스가 무선통신이기 때문에 갖는 잡음과 전파 방송 오류원의 약점을 극복하고자 함이다.

블루투스는 세 가지 오디오 부호화 기법이 있는데 A-law 혹은 μ -law을 사용한 로그 PCM 부호화 기법과 CVSD 기법이 있다. ITU-T의 권고 G.711은 로그 PCM의 특성에 대한 규격을 정의하고 있다. 로그 PCM 부호기의 입력은 8kHz에서 A-law의 경우 13비트, μ -law의 경우 14비트인 3채널이지만, 출력은 8kHz에서 8비트로 부호화된 데이터의 3채널이다. 블루투스는 CVSD 코덱에 대한 샘플 입력과 출력을 부호있는 16비트로 규정하고 있다. Fig. 15는 전형적인 블루투스 오디오 서브시스템의 블록다이어그램을 나타낸 것이다. 로그 PCM 부호화와 복호화 함수는 8kHz에서 PCM 데이터에 대하여 공통 경로를 갖는다. 그러나 CVSD 코덱은 보간과 데시메이션이 필요하다. 블루투스 시스템에서 오디오 경로는 두 가지가 있다. HCI 패킷의 데이터로서의 HCI 경로와 베이스밴드 코덱으로의 직접적인 PCM 접속을 경유하는 경로이다.




 제주대학교 중앙도서관
 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
 Fig. 15. Audio subsystem on Bluetooth

블루투스 SCO 링크에 의해 전달된 음성 품질을 평가하는 단순한 방법은 총 데이터 전송률을 Table 4와 같이 다른 오디오 시스템의 데이터 전송률과 비교하는 방법이다. Table 4에서 블루투스 SCO 채널의 64kbps는 현재 이동 셀룰러폰으로부터 양질의 음성 통신을 가능하게 해준다. 그러나 SCO 링크는 음악감상을 할 정도의 양질의 오디오 전송에는 적합하지 않다.(Jennifer Bray and Charles F Sturman, 2001)

Table 4. The comparison of audio data rates

System	Quality	Data Rate(kbps)
Audio CD	Stereo 16 bit @ 44.1kHz	1411.2
MP3-encoded	Stereo Near-CD Quality	128
POTS Telephone	Mono 8 bit @ 11.025kHz	88
GSM Audio	Mono 8 bit @ 8kHz	64
Bluetooth SCO Channel	Mono 8 bit @ 8kHz	64

다음 장에서 SCO 링크에서의 음성 전송 방법을 응용하여 ACL 링크에서 음성 전송 테스트를 수행하고, 이를 통해 ACL 링크에서 음성 전송이 가능함을 확인하고 그 방법을 제시한다.



V. 실험 결과 및 분석

본 논문에서는 블루투스 ACL 링크에서 주어진 여러 환경에 대하여 데이터율을 측정하기 위하여 Fig. 16과 같은 CSR 모듈을 사용한 블루투스 테스트 보드 두 개와 3장에서 구현한 블루투스 응용프로그램을 PC기반에서 수행하였다. 각 기기의 모듈은 통신 유효거리가 10m이고 내부 버퍼 크기는 192byte로 설정되어있다. 실험 과정에서 정규열의 크기를 1024byte 이하로 했는데, 이는 블루투스 시스템의 제한된 성능을 고려했기 때문이다.

또한, ACL 링크에서 음성 전송 테스트를 수행하기 위해서 블루투스 테스트 보드와 DUAL Rate 음성 코덱 칩을 사용한 DSP 보드를 사용하였다. 각각의 응용 프로그램에 공용버퍼를 두어 음성 송·수신이 실시간으로 가능하도록 구현하였다.

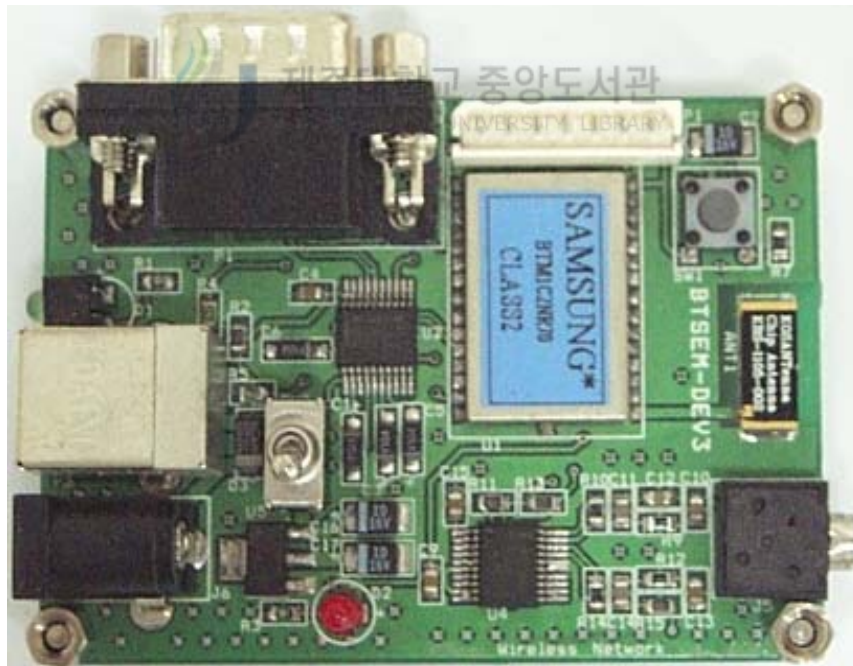


Fig. 16. Bluetooth test board

1. 링크 품질에 따른 데이터율

본 실험에서는 전송 데이터 크기를 500kbyte, 정규열을 1000byte로 하여 데이터 전송을 수행하였다. 먼저 HCI 명령을 통해 링크 품질을 체크하고 이 때 패킷 형태를 조절하면서 ACL 링크에서의 데이터율을 분석한다.

1) 링크 품질 측정

두 기기간의 연결이 완료된 후 “HCI Get Link Quality” 명령을 통해 링크 품질에 대한 정보를 얻을 수 있다. 링크 품질 값은 0~FF 사이의 수로 나타내는데 큰 값일수록 높은 링크 품질 값을 갖는다. 무선 환경에서의 링크 품질의 변동은 간섭에 의한 주기적인 연접 오류, 링크를 가로막는 물체, 장치의 이동 등이 원인이 된다. 본 실험에서 두 기기간의 거리가 모듈의 유효거리인 10m이내이면서 장애물과 전파의 장애가 없는 경우 링크 품질은 F0~FF사이의 높은 값을 나타내었다. 모듈의 유효거리의 100~150% 범위이고 장애물이 있는 경우에는 링크 품질은 D0~EF을 나타내었다. 그리고 유효거리 이내에서도 전파의 감쇠 등 장애 지역에서는 링크 품질은 B0~CF이고 유효거리의 150%이상이고 장애물이 있을 경우 링크 품질은 B0이하의 값을 갖는다.

2) 패킷 형태 선택

블루투스에서는 4장에서 설명한 것과 같이 링크 품질에 따라 패킷 형태가 조절이 되어야 효율적인 데이터 전송이 가능하다. 블루투스에서 패킷 형태는 두 기기간에 연결 설정 과정에서 결정된다. 본 실험에서는 “HCI Create Connection” 명령에 의해 패킷의 형태가 결정된 상태에서 “HCI Change Connection Packet Type” 명령을 통해 Packet Type 파라미터의 값을 조정하여 각각의 ACL 패킷 형태별로 연결 설정을 완료한다.

3) 데이터율 분석

이 장에서는 호스트 HCI 명령으로 여러 환경에서의 링크 품질의 값을 확인하고 패킷 형태를 변화시키면서 DM 과 DH 패킷 형태에서의 데이터율을 측정하여 분석하였고, 이를 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Data rates by link quality and packet type

링크 품질	패킷 형태	데이터율 (kbps)	실제 데이터율(%)	FF기준 데이터율	링크 품질	패킷 형태	데이터율 (kbps)	실제 데이터율(%)	FF기준 데이터율
FF	DM1	47.1	43.3	1	D0~EF	DM1	40.2	36.9	0.85
	DH1	72.2	41.8	1		DH1	53.8	31.1	0.75
	DM3	179.4	46.3	1		DM3	152.7	39.4	0.85
	DH3	266.7	45.5	1		DH3	142.3	24.3	0.53
	DM5	232.6	48.7	1		DM5	199	41.6	0.86
	DH5	363.6	50.3	1		DH5	221	30.6	0.61
F0~FF	DM1	45.5	41.8	0.97	B0~CF	DM1	19.2	17.6	0.41
	DH1	70.8	41	0.98		DH1	36.2	20.9	0.50
	DM3	163.3	42.2	0.91		DM3	101.5	26.2	0.57
	DH3	258.1	44.1	0.97		DH3	34.9	6	0.13
	DM5	219.8	46	0.95		DM5	57.8	12.1	0.25
	DH5	317.5	44	0.87		DH5	36.5	5	0.10

Table 5에 나타낸 것처럼 링크 품질이 높은 F0~FF사이에서는 DM 패킷 형태보다는 DH 패킷 형태로 데이터를 전송하는 것이 효율적이고, 링크 품질이 중간인 D0~EF에서는 DM 패킷과 DH 패킷이 비슷한 데이터율을 보이는데 DH3, DH5 패킷의 경우는 링크 품질이 FF일 때의 50~60%로 감소하였다. 링크 품질이 낮은 B0~CF에서는 DH 패킷 형태보다는 DM 패킷 형태로 데이터 전송을 하는 것이 효율적임을 알 수 있다. 특히, 다중 슬롯을 사용하는 DH3, DH5 패킷 형태에서는 급격히 전송 효율이 낮아졌고, DM3 형태에서 가장 효율이 높았다. 링크 품질이 가장 낮은 B0이하인 경우는 조회 과정에서 상대 기기를 찾지 못하는 경우나 연결

설정 에러가 나오는 경우가 대부분이고, 연결 설정 후에도 데이터 전송은 데이터율이 1% 미만이거나 전송과정 중 끊어지는 경우가 생겼다. 이런 링크 품질에서는 두 기기간에 연결 설정을 포기하는 것이 효율적인 면에서 좋을 것이다.

링크 품질이 제일 높은 FF이었을 때의 데이터율은 Table 2의 이론적 최대 데이터율보다 40~50%의 전송 효율을 보였다. 링크 품질이 FF일 때를 기준으로 한 링크 품질에 따른 패킷 형태와 데이터율은 Fig. 17과 같다. Fig. 17을 살펴보면 링크 품질이 낮아질수록 DM 패킷의 형태는 데이터율이 완만한 감소를 보이고 있고, DH 패킷의 형태는 급격한 감소를 보이고 있는데, 이는 링크 품질이 높으면 DH 패킷 형태를 사용하는 것이 좋고 링크 품질이 낮으면 재전송이 있는 DM 패킷 형태가 전송 효율이 좋은 것을 보여주고 있다.

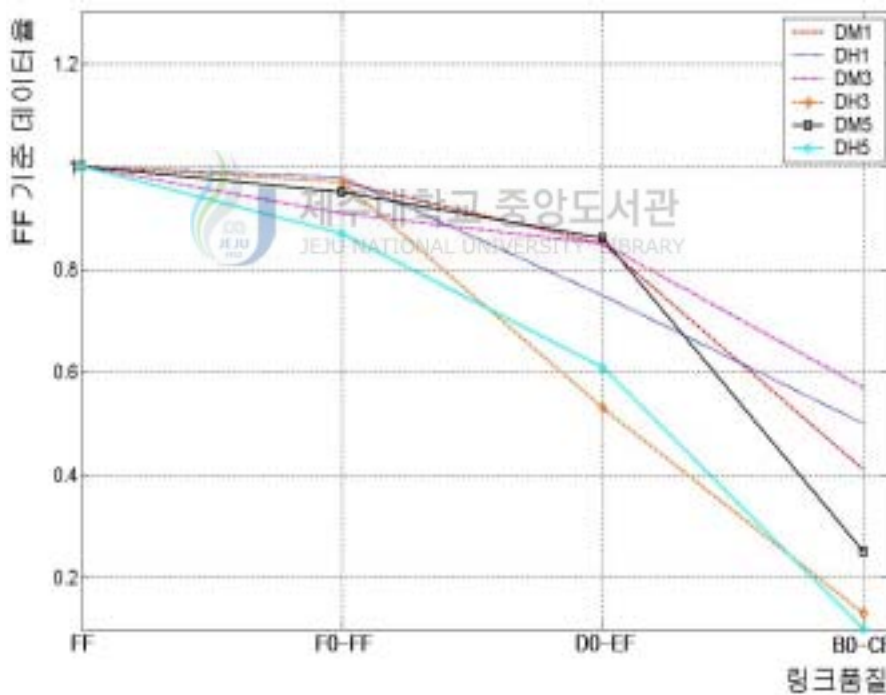


Fig. 17. Data rates by link quality based on FF

2. 정규열 크기에 따른 데이터율

본 실험에서는 총 데이터 크기를 500kbyte로 했고, 링크 품질 상태는 FF일 때를 기준으로 정규열 크기의 변화에 대한 데이터율을 측정하여 분석하였다.

1) 정규열 크기 선택

4장에서 논의 한 것처럼 정규열의 크기가 데이터율에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 그리고 데이터율에 영향을 미치는 또 다른 요소로는 사용하는 패킷 형태와 구성 스택, HCI 버퍼 크기가 있다. HCI 버퍼는 이론적으로 최대 65535byte까지 지원이 가능하나 대부분의 블루투스 모듈은 이와 같은 크기의 패킷을 수신할만한 큰 버퍼를 가지고 있지 않다. 모든 블루투스 모듈과 호스트는 최대 데이터 크기가 255byte까지인 패킷을 지원해야 한다고 규정되어 있다. 본 실험에서는 사용한 블루투스 모듈의 내부 버퍼가 192byte이므로, 호스트 응용프로그램에서도 HCI 버퍼의 크기를 192byte로 구현하였다.

본 실험에서는 각각의 패킷의 페이로드 크기를 고려하여 HCI 버퍼 크기 이하일 때는 각 패킷의 최대 페이로드 크기에 맞도록 정규열 크기를 정했고, 그 이상일 때는 HCI 버퍼 크기와 패킷의 페이로드 크기 둘 다에 관련된 크기로서 정규열의 크기를 정했다. 그리고 데이터율에 대한 비교를 위해 임의의 크기로 정규열 크기를 정해서 실험을 하였다.

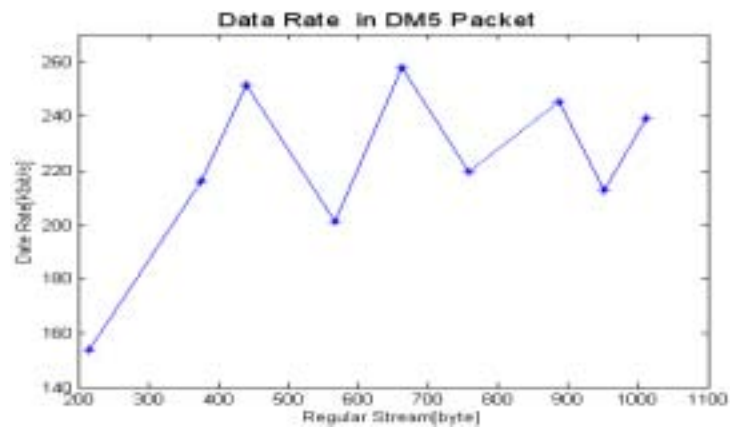
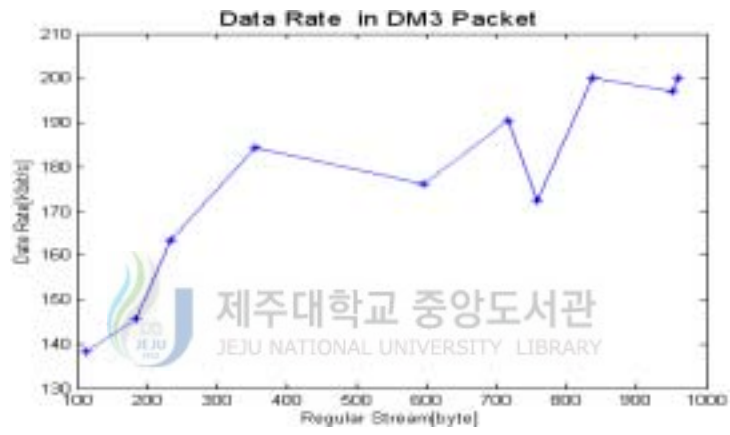
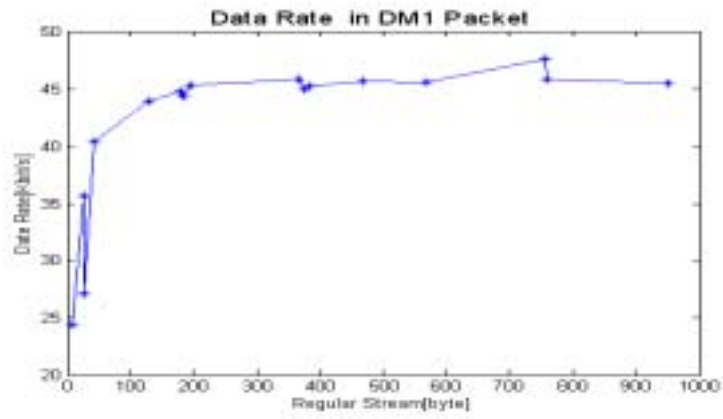
2) 데이터율 분석

Table 6은 정규열의 변화에 대한 ACL 링크의 각 패킷에서의 데이터율에 대한 값이고, Fig. 18은 이를 그래프로 표현한 것이다. 정규열의 크기가 HCI 버퍼 크기보다 작은 경우는 각 패킷 형태의 페이로드 크기의 배수와 정규열 크기를 같게 함으로서 데이터율이 좋아진다. Table 6과 Fig. 18에 나타난 것처럼 DM1 패킷인 경우 페이로드 크기의 2배와 정규열 크기(26byte)를 같게 했을 때의 데이터율과 어긋난 정규열 크기(27byte)에서의 데이터율을 비교해보면 24.1%의 데이터율 감소가 있음을 알 수 있다. 또한 DH1 패킷일 때 어긋난 정규열 크기(74byte)인 경우는 알맞은 정규열 크기(73byte)일 때 비해 15.3%로 데이터율이 감소했다. 어긋난 정규열 크기를 선택하면 데이터가 분할되어 전송

되기 때문에 데이터율 감소의 원인이 된다. 그러나 HCI 버퍼 이내의 크기에서 정규열 크기를 정확하게 각 패킷의 페이로드 크기에 맞췄을 경우에도 정규열 크기가 너무 작은 경우는 낮은 데이터율을 보였다. 이는 데이터 전송 시에 정규열 크기마다 RFCOMM, L2CAP, HCI 헤더가 계속 붙게 되는데 그 원인이 있다. 결과적으로 정규열 크기를 너무 작게 하는 것은 데이터율에 좋지 않음을 알 수 있다. 그리고 DM5 와 DH5 패킷일 때는 페이로드의 크기가 HCI 버퍼 크기 값보다 크므로 데이터율에 영향을 미치지 않는다.

Table 6. Data rates for regular stream

패킷 형태	정규열 크기 (byte)	전송 시간 (s)	데이터 율 (kbps)	정규열 크기 (byte)	전송 시간 (s)	데이터 율 (kbps)	패킷 형태	정규열 크기 (byte)	전송 시간 (s)	데이터 율 (kbps)	정규열 크기 (byte)	전송 시간 (s)	데이터 율 (kbps)
DM1	9	164.3	24.3	365	87.3	45.8	DH1	19	145.2	27.5	375	57	70.2
	26	112	35.7	375	88.9	45		73	63	63.5	396	56.6	70.7
	27	147.6	27.1	382	88.4	45.2		74	74.3	53.8	558	55.1	72.6
	43	99	40.4	467	87.5	45.7		127	58	67	567	55.5	72.1
	127	91	43.9	567	87.7	45.6		153	59.1	67.7	759	54.2	73.8
	178	89.2	44.8	756	84	47.6		183	61	65.8	936	54	74.1
	183	90.3	44.3	759	87.3	45.8		207	56.8	70.4	951	54.7	73.1
	195	88.3	45.3	951	87.9	45.5		369	56.1	71.3			
DM3	113	28.9	138.4	717	21	190.5	DH3	174	22.7	176.2	567	22.8	175.4
	183	27.5	145.5	759	23.2	172.4		183	36.8	108.7	723	15.5	258.1
	233	24.5	163.3	838	20	200		357	15.9	251.6	759	17.7	226
	354	21.7	184.3	951	20.3	197		375	19.1	209.4	906	15.9	251.6
	596	22.7	176.2	959	20	200		540	16.6	241	951	16.9	236.7
DM5	215	26	153.8	759	18.2	219.8	DH5	330	11	363.6	759	14.2	281.7
	375	18.5	216.2	887	16.3	245.4		375	18.1	221	951	11.1	360.4
	439	15.9	251.6	951	18.8	212.8		567	12.4	322.6	1008	11.1	360.4
	567	19.9	201	1011	16.7	239.5		669	13	307.7			
	663	15.5	258.1										



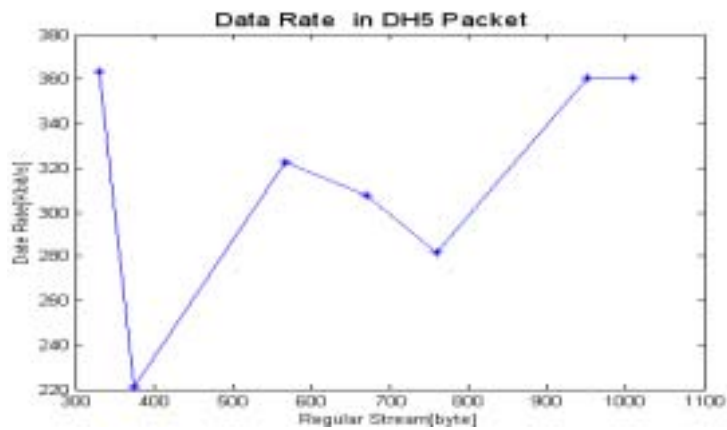
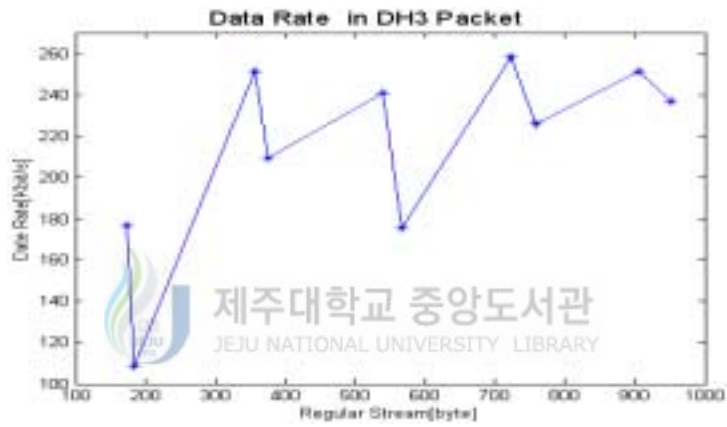
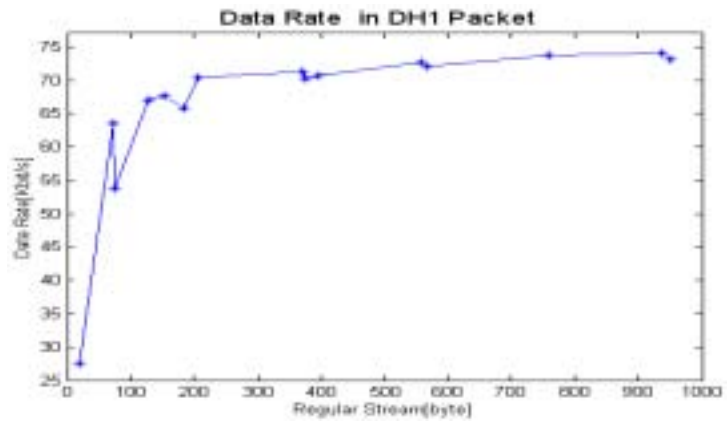


Fig. 18. Data rates variation for each packet types of ACL link

정규열의 크기를 HCI 버퍼 크기 이상으로 했을 경우, 데이터의 분할은 반드시 일어나게 되어 데이터율에 영향을 주게된다. 이 때 각 패킷의 페이로드 크기와 HCI 버퍼 크기를 고려하여 정규열 크기를 조정하여 데이터 분할이 최소화 되도록 해야 효율적인 전송이 이루어진다. Table 6과 Fig. 18에 의하면 정규열의 크기가 HCI 버퍼 크기 이상이고, 페이로드 크기의 배수에 근접한 값일 때 최대의 데이터율을 보였다. 이러한 결과를 종합해 볼 때 Table 7과 같이 각 패킷에 대한 최적의 정규열 크기 값을 얻을 수 있다. 이는 모두 HCI 버퍼 크기의 약 3~5배에 해당되는 값들이다. 또한 정규열 크기가 페이로드 크기의 어느 정도 이상이 되면 데이터율에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

Table 7. Optimal stream size for each packet type

패킷 형태	DM1	DH1	DM3	DH3	DM5	DH5
최적의 정규열 크기 (byte)	756	936	838	723	663	951,1008

이 실험을 통해 정규열의 크기를 작게 하는 것보다는 HCI 버퍼 크기의 3~5배 사이의 값에서 각 패킷의 페이로드 크기를 고려하여 최소의 데이터 분할이 이루어지도록 정규열 크기를 선택하는 것이 효율적인 데이터 전송이 됨을 알 수 있었다.

3. 링크 품질과 정규열 크기를 고려한 데이터율

본 실험에서는 총 데이터 크기를 500kbyte로 했고, 링크 품질은 DF 이하로 낮은 상태로 기준을 정했다. 그리고 낮은 링크 품질에서 데이터율이 현격히 떨어지는 DM1 패킷과 DH1 패킷일 때의 실험은 제외되었다.

Table 8은 링크 품질과 정규열 크기에 따른 데이터율을 분석한 결과이다. 링크 품질이 좋지 않은 상태에서 최적의 정규열 크기의 선택이 데이터율에 미치는 영향을 보여준다. Table 8에 나타낸 최적의 데이터율과 Table 5에서 임의의 정규열 크

기(1000byte)에 대한 데이터율을 비교해보면 데이터율이 개선됨을 알 수 있다.

Table 8. Optimal data rates with optimal regular stream size on low link quality

링크 품질	패킷 형태	최적의 정규열 크기 (byte)	전송시간 (s)	최적의 데이터율 (kbps)	최적의 정규열 크기이면서 FF기준 데이터율
DF 이하	DM3	959	21	190.5	0.95
	DH3	723	19	210.5	0.82
	DM5	663	20.7	193.2	0.74
	DH5	951	16.5	242.4	0.67

Fig. 19는 각 패킷 형태에서 링크품질이 가장 좋았을 때인 FF를 기준으로 하여 낮은 링크품질에서 최적의 정규열 크기를 사용하여 얻어진 최적의 데이터율을 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 17을 보면 링크품질 좋지 않은 상태에서 DH3와 DH5 패킷 일 경우 데이터율의 급격한 감소를 보이는데 이를 최적의 정규열 크기로 대체하면 Fig. 19와 같이 완만한 기울기의 데이터율을 보임을 알 수 있다.

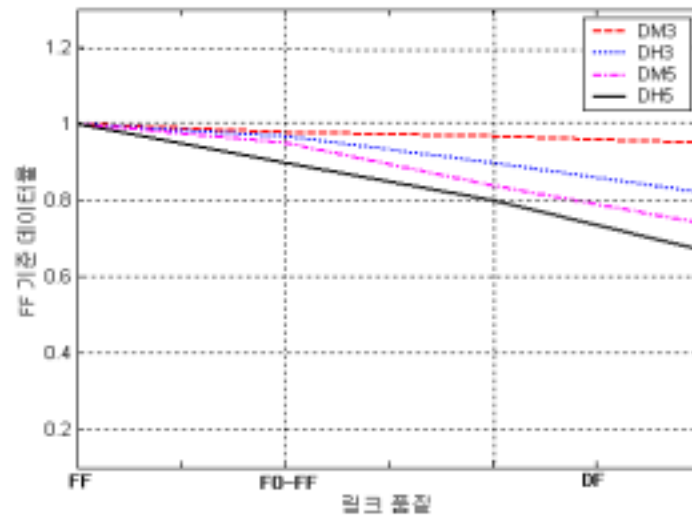


Fig. 19. Data rates using optimal regular stream size by link quality

링크 품질 FF일 때를 기준으로 했을 때는 DM3에서가 가장 좋은 데이터율을 보인다. 하지만 DH 패킷이 데이터율의 감소가 다른 것에 비해서는 크지만 실제 데이터율은 가장 좋은 값을 가진다는 것을 말해준다.

4. ACL 링크에서의 음성 전송

본 논문에서는 블루투스 ACL 링크에서의 음성 전송 테스트를 수행하기 위해서 CSR 모듈이 장착된 PC 기반의 블루투스 테스트 보드와 DUAL Rate 음성 코덱 칩을 사용한 DSP 보드를 사용하였다. 그리고 두 보드는 PC와의 인터페이스로 각각 시리얼 포트와 USB 포트를 사용하여 제어된다. 블루투스 테스트 보드는 ACL 링크 설정과 데이터 송·수신 역할을 담당하였고, DSP 보드는 음성 데이터를 생성하고 출력하는 역할을 담당한다. 블루투스 응용프로그램과 DSP 보드 테스트 응용프로그램간에 공용버퍼를 이용하여 블루투스 ACL 링크에서 음성 데이터를 실시간으로 송·수신 가능하도록 구현하였다.

1) 음성 데이터

음성데이터 생성은 DSP 보드를 사용하였는데, DSP 보드에서는 저비트율 음성 압축을 위하여 PCM과 DSP 프로세서를 사용한 H/W가 구성되어 있다.

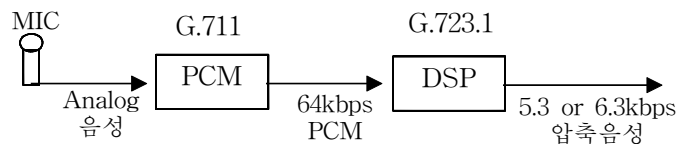


Fig. 20. Audio subsystem on DSP board

DSP 보드의 오디오 서브시스템은 Fig. 20과 같다. 마이크에서 입력된 아날로그 음성은 G.711 음성 코덱이 적용된 PCM 칩인 TP3054를 거쳐 64kbps의 디지털 데이터로 출력되고 DSP 프로세서에 의해 5.3 또는 6.3kbps의 압축음성을 최종 출력한다. DSP 프로세서로는 BIRDIE 칩이 사용되었고 이것은 ITU-T G.723.1 권고안을 만족하는 음성 코덱 칩이다. G.723.1 음성 코덱 알고리즘은 실시간 음성처리와 DSP를 중심으로 다양한 주변장치들을 이용하는데 편리하다.

DSP 보드 응용프로그램은 마이크에서 입력되는 음성을 G.723.1 방식으로 압축하여 6.4kbps의 음성 데이터를 만들고, 동시에 그 데이터를 2byte의 16진수 크기로 공용 버퍼에 차곡차곡 저장한다.

2) ACL 링크설정 및 데이터 송·수신 테스트

두 블루투스 디바이스 간에 응용프로그램을 통해 ACL 링크로 설정을 하였고, 5장에서의 실제 데이터율을 고려했을 경우 DM1과 DH1 형태의 패킷은 64kbps 이하의 데이터율이 되므로 음성 전송에는 적합하지 않다. 그 외의 ACL 패킷형태에서는 링크 품질에 상관없이 요구되는 데이터율 이상의 데이터율을 보이고 있다. 본 논문에서는 DM3 형태에서 데이터 송·수신 테스트를 수행했다. 그 이유는 저장되어 있는 음성데이터 전송인 경우, 데이터율이 더 좋은 나머지 패킷형태에서는 송·수신되는 데이터량이 음성 재생 속도 보다 많아서 공용 버퍼에서 중복 소실되는 데이터가 생기기 때문이다. 그리고, 실시간 음성 통신인 경우에는 DM3 이상의 패킷일 때는 패킷형태에 관계없이 음성 송·수신이 가능하나, 데이터율이 좋은 DH3, DM5, DH5 패킷을 사용했을 때는 불필요한 과동작으로 인해 비효율적이 될 수 있다.

이 실험은 PC 기반에서 블루투스 테스트 보드와 DSP 보드를 각각 시리얼 포트와 USB 포트에 연결한 후 각각의 응용프로그램을 통해 제어된다. 또한 블루투스 응용프로그램과 DSP 보드 응용프로그램에는 Fig. 21과 같이 공용 버퍼를 두어 서로 데이터를 읽고 쓸 수 있게 하였다.



Fig. 21 common buffer

송신측에서는 DSP 보드 응용프로그램 실행과 함께 공용 버퍼 초기화 상태가 되고, 블루투스 응용프로그램을 실행하여 마스터, 슬레이브 설정과 두 디바이스간의 ACL 연결 설정을 한다. DSP 보드 응용프로그램을 통해 음성에 대한 DSP 코덱 Start와 함께 음성 데이터가 공용버퍼에 쓰여지게 되고, 블루투스 응용프로그램에서는 공용 버퍼에 있는 음성 데이터 읽어들이어 상대 디바이스로 전송하게 된다. 이때, DSP에서는 24byte씩 패킷화하여 30ms 간격으로 공용 버퍼에 쓰게 되고, 블루투스 디바이스에서는 정규열 크기를 30byte로 하는 DM3 패킷을 통하여 공용 버퍼에 있는 데이터를 전송하게 된다. 여기서 DSP에서는 사용되는 코덱과 관련하여 정확한 음성 재생을 위해 패킷 크기와 데이터 쓰기 간격이 정해져 있다. 따라서 블루투스 디바이스에서는 이러한 패킷 크기와 데이터 쓰기 간격을 고려해야만 하므로 24byte를 커버할 수 있는 크기로 30byte의 정규열 크기를 선택했다.

수신측에서는 블루투스 응용프로그램 실행과 함께 공유 버퍼 초기화되고 블루투스 응용프로그램을 통하여 마스터, 슬레이브 설정과 두 디바이스간의 연결 설정을 한다. DSP 응용프로그램을 통해 DSP 보드의 코덱 Start가 되고, 동시에 공용버퍼의 음성데이터를 읽어서 재생할 준비를 한다. 블루투스 디바이스 통해 데이터 수신 시작되면 블루투스 응용프로그램에서는 수신된 데이터를 공용버퍼에 쓰게 되고, DSP 보드 응용프로그램은 이를 감지하여 공용버퍼에 쓰여진 데이터를 읽어 30ms 간격으로 24byte의 데이터를 DSP 보드로 넘겨줘서 음성 재생을 시작하게 한다. Fig. 22는 DSP 보드 테스트를 위한 응용프로그램으로서 DSP 코덱 start 버튼을 눌렀을 때의 실행 창을 보여주는 것이다.

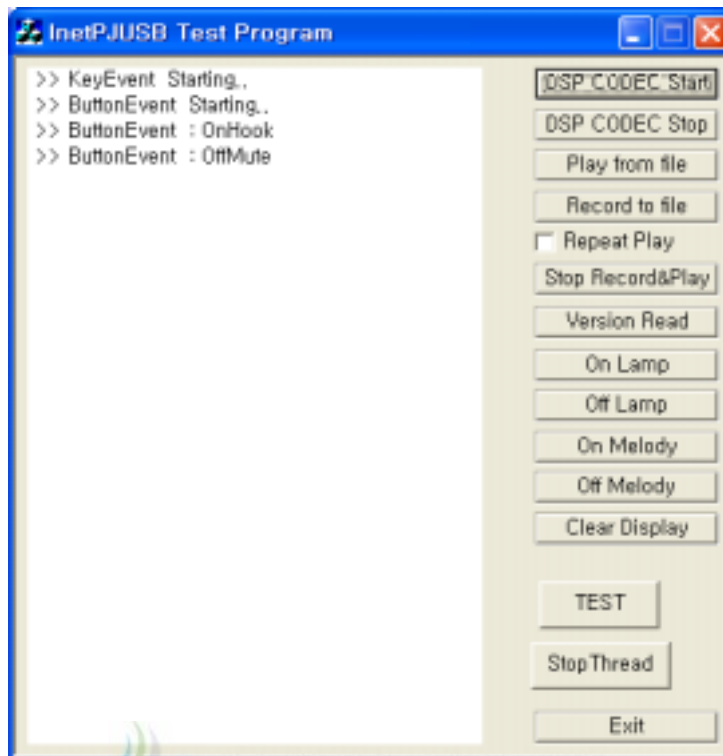


Fig. 22 DSP board test program

실험 결과 두 지점간의 실시간 양방향 음성 통화가 가능했고, 통화 품질 또한 비교적 양호했다. 이 실험은 블루투스 ACL 링크에서 음성 전송을 위한 하나의 방법을 테스트한 것이다. 이 테스트 과정에서 음성 코덱 부분을 MP3와 같은 오디오 압축 기술로 대체하고, 블루투스 응용프로그램에서 ACL 링크의 데이터 송·수신에 세밀한 제어를 통하여 MP3의 데이터와 동기화를 맞추면 블루투스에서 고음질의 음악 전송이 가능하리라 판단된다.

VII. 결 론

본 논문에서는 블루투스 ACL 링크에서 효율적인 ACL 데이터 전송과 음성 전송 기법을 제시하였다. 이를 위해 호스트 프로토콜 스택을 기반으로 하여 PC기반에서의 응용프로그램을 구현하였다. 이 응용프로그램은 기기의 초기화 설정, 조회, ACL 연결 설정, SCO 연결 테스트, 파일 전송, HCI 명령 테스트, 문자열 송·수신을 통한 채팅, UDP프로토콜에 의한 AP 기능 등을 수행할 수 있다. 블루투스 응용프로그램을 이용하여 호스트 HCI 명령을 통해 여러 환경에서의 링크 품질의 값을 측정하였고 그에 따라 패킷 형태를 변화시키면서 데이터율을 분석하였으며 데이터의 정규열 크기에 따른 데이터율도 분석하였다. 이를 바탕으로 링크 품질과 정규열 크기를 고려한 데이터율을 분석하였다.

본 실험 데이터율 분석을 통해 링크 품질이 좋은 환경인 F0~FF에서는 DM 패킷보다는 DH 패킷 형태로 데이터 전송을 하는 것이 효율적이고, 링크 품질이 중간인 D0~EF에서는 DM 패킷과 DH패킷이 비슷한 데이터율을 보인다. 링크 품질이 낮은 B0~CF에서는 DM 패킷 형태 중 특히 DM3 패킷으로 데이터 전송을 하는 것이 효율적이다. 링크 품질이 B0이하에서는 연결 설정을 포기하는 것이 효율적임을 알 수 있다. 또한 최적의 전송 효율을 얻기 위해서는 HCI 버퍼 크기와 각 패킷의 페이로드 크기를 고려하여 정규열의 크기가 결정되어야 함을 알 수 있었다. 실험 결과를 분석해보면 정규열 크기가 HCI 버퍼 크기의 3~5배에 해당하고 페이로드 크기의 배수에 근접한 값일 때 최적의 데이터율을 보였다. 이러한 실험 결과로부터 제안한 방법이 ACL 링크에서 데이터 전송에 효율적임을 확인 할 수 있다.

본 논문에서는 블루투스 ACL 링크에서 음성 전송을 위해 블루투스 테스트 보드와 DSP 보드를 사용하였고, 두 보드는 시리얼 포트와 USB 포트를 통해 PC상에서 응용시 이용하기 편리한 형태로 모듈화된 각각의 응용프로그램으로 제어했다. DSP 보드를 통해 생성된 음성은 블루투스 테스트 보드를 통해 상대방에서 실시간으로 수신, 재생되어 음성 통신 형태가 확인되었다. 실험 결과 두 지점간의 실시간 음성 통화가 가능했고, 통화 품질 또한 비교적 양호했다. 통화 음질과 지연에

관련된 정확한 음성 데이터 전송과 재생을 위한 더 향상된 결과를 얻기 위해서는 블루투스 응용프로그램과 DSP 응용프로그램에서 ACL 링크와 관련된 데이터 송·수신에 좀더 세밀한 제어가 요구된다. 이런 실험은 블루투스 ACL 링크에서 음성 전송을 위한 하나의 방법을 테스트한 것이다. 이런 방법을 응용하면 다른 형태의 음성이나 음악 전송도 블루투스에서 가능하다고 사료된다.



참 고 문 헌

- Bluetooth Special Interest Group, 1999, "Bluetooth Core Specification 1.1v of the Bluetooth system Part B"
- Jennifer Bray and Charles F Sturman, 2001, "Bluetooth connect without cables", Prentice Hall PTR
- Nathan J. Muller, 2001, "BLUETOOTH DEMYSTIFIED", The McGraw-Hill Companies
- Miller and Brent A, 2000, "Bluetooth Revealed", Prentice-Hall
- Held and Gilbert, 2000, "Data over Wireless Networks", McGraw-Hill,
- 주민철, 2001. 7, "블루투스 시스템에서의 채널상태분석을 이용한 ACL 링크 관리 방식", 한국통신학회 하계학술대회 논문집, pp.48-51
- 박홍성, 2001. 7, "피드백 에러를 고려한 블루투스 무선 링크의 성능 분석", 한국통신학회 하계학술대회 논문집, pp.23-27
- 김정근, 2002. 7, "Bluetooth를 이용한 VoIP Phone의 Wireless LAN Access System 개발", 대한전자공학회 하계학술대회 논문집, pp.343-346
- 동역메카트로닉스연구소 기술정보실, 2000, "스펙트럼 확산통신 시스템 설계", 국제테크노정보연구소, 17-32pp.

본 논문과 관련된 저자의 발표 논문

1. 학술발표대회논문집

- 김재필, 김창윤, 임재윤. “블루투스 기저대역에서의 흡선택시 지연개선 및 ASIC설계”, 한국통신학회 하계종합학술발표대회 논문집, 2001. 7.
- 김창윤, 양영배, 임재윤. “블루투스에서의 효율적인 ACL 데이터 전송 방법”, 대한전자공학회 하계종합학술발표대회 논문집, 2002. 6.
- 양영배, 김창윤, 임재윤. “블루투스에서 최적의 전송효율을 갖는 ACL 데이터 전송기법”, 한국통신학회 하계종합학술발표대회 논문집, 2002. 7.
- 양영배, 김창윤, 김영애, 임재윤. “블루투스에서 링크제어를 통한 ACL 데이터 전송 최적화 기법”, 대한전기학회 · 대한전자공학회 · 한국통신학회 제주지부 합동발표대회 논문집, 2002. 8.

2. 게재 논문집



- 김창윤, 양영배, 임재윤. “블루투스에서 효율적인 ACL 데이터 전송 기법”, 제주대학교 첨단기술연구소 논문집 제13권 1호, pp107~114, 2002. 6.

감사의 글

학위 논문이 결실을 맺기까지 배움의 길을 넓혀주시고 삶의 진리를 가르쳐 주신 임재윤 교수님께 진심으로 감사 드립니다. 그리고, 논문을 쓰는데 많은 지도를 해주신 심사 위원장이신 김홍수 교수님과 양두영 교수님께 감사 드립니다. 조교생활과 대학원 생활을 동시에 하는데 많은 도움을 주신 이용학 교수님, 강진식 교수님께 감사 드립니다. 항상 온화하게 저희들을 지켜 봐주신 문건 교수님, 좌정우 교수님께도 감사 드립니다. 교수님들 건강하십시오.

저에게 대학원 선배이자 인생의 선배로서 많은 조언과 격려를 해주신 부식형, 성욱형, 권익형, 봉수형에게 고마움을 전합니다. 대학원 생활동안 나에게 많은 도움을 준 학부동기이자 대학원 선배인 성익아, 고맙다. 대학원 동기인 종국형과 철우에게는 사회생활 잘 하기를 바라고, 후배인 수미, 광식, 영길에게도 고마움을 전합니다. 그리고 나와 같이 조교생활과 대학원 생활을 같이하면서 여러 가지 면에서 큰 도움을 준 은진, 학과 일을 도와준 윤희와 민철에게도 고마운 말을 전하고 싶습니다. 또한, 이 논문을 작성하는 동안 서로 격려하고 의지한 연구실 동기인 진숙, 나에게 가장 많은 도움을 준 후배인 영배와 현미, 회사생활을 하면서도 항상 후배를 챙겨준 졸업선배인 재필과 영애, 나와 연구실에서 항상 함께 한 재오, 성민, 권후, 지윤, 혜림, 정애와 이 논문이 완성된 기쁨을 나누고 싶습니다.

대학원 생활을 하면서 힘들고 지쳐있을 때, 토요일 오후의 운동으로 삶의 활력을 갖게 해 준 승권형을 비롯한 휘몰이축구회 선·후배들에게도 내 마음을 전합니다. 그리고, 항상 나에게 힘이 되어 준 영원한 친구인 상우회 벗들, 충선과 미아, 충무와 연심, 준수와 진아, 명철과 은실, 종필과 아지, 경훈과 정혜, 태완, 정완, 정오에게 고마운 마음을 전하고 싶습니다.

끝으로 오늘의 내가 있기까지 말없이 믿어주고 사랑과 희생으로 보살펴 주신 어머니와 누나와 동생에게 깊은 감사를 드리고, 아버님 영전에 이 논문을 바칩니다.