프로토콜 모니터링 및 에뮬레이션 기능을 제공하는 블루투스 프로토콜의 교육용 소프트웨어

Educational Software Development of Bluetooth Protocol for Protocol Monitoring and Emulation

정중수
안동대학교 전자정보산업학부

중심어 : 블루투스, 프로토콜, 프로파일

요 약

오늘날 무선통신 기술은 기존 유선 통신방식에 추가하여 매우 주목받고 있는 정보통신 혁명을 주도하였다. 무선 통신에서 자체 피코넷(piconet)을 형성하여 음성이나 데이터 통신을 수행하는 블루투스 기술은 많은 응용분야에 적용되고 있으며, 나아가 액세스 망을 통해 공중망과 접속 가능하게 되었다.

본 논문에서는 블루투스 프로토콜의 기술교육을 위하여 프로토콜 스택의 핵심인 HCI, L2CAP, RFCOMM, SDP와 프로파일의 핵심인 GAP, SPP, GEOP, FTP을 모니터링 및 에뮬레이션하기 위한 프로그래밍 기법의 제반 환경을 체계적이고 쉽게 서술하였다. 이러한 기능은 블루투스 디바이스와 RS-232-C, USB 또는 UART 인터페이스로 접속된 PC 환경에서 비주얼 C로 작성된 응용 프로그램으로 수행되며, 블루투스 디바이스에 실장된 펌웨어와 인터페이스를 수행하여 개발되었다. 아울러 개발된 소프트웨어를 활용하여 파일 전달 및 채팅 기능을 부가적으로 제공하여 교육의 효율을 높이고자 하였다.

Joong-Soo Chung (jschung@andong.ac.kr)
Div. of Electronic Information Industry, Andong National University

Keyword : Bluetooth, Protocol, Profile

Abstract

In addition to wired communication technology, wireless communication technology has been driving communication revolution nowadays. Bluetooth technology carries out data/voice communication making pico-net and the various application services are supported by access network connected to public network.

This paper presents educational software development of bluetooth protocol stack including HCI, L2CAP, RFCOMM, SDP and profiles including GAP, SPP, GEOP, FTP. This software which supports programming environment of these protocol monitoring and emulation is implemented basically step by step for education based on PC connected to the bluetooth device through RS-232-C, UART or USB cable. Application program coded by Visual C is operated over the firmware loaded on the bluetooth device connected to the PC. Additionally ftp and chatting function are developed to enhance educational efficiency.

I. 서론

무선 통신 기술 중 블루투스 기술은 하드웨어와 펌웨어가 어떤 종류이고, 어떻게 구성되는지 몰라도 소프트웨어와 특정한 송, 수신패킷을 정의함으로써 하드웨어(펌웨어 포함)와 소프트웨어 독립성을 보장하여 쉽게 개발자들이 접근하도록 하였다. 케이블 없이 가전기기, PC 장비, 전화기 등을 연결하는 블루투스 기술 중 핵심적인 프로토콜 스택과 서비스 기능으로 처리되는 프로파일 기능은 최근에 그 권고안이[1] 확정되기 전부터 세계적으로 붐을 타고 있는 실정이다. 또시리얼 통신[2], 통신에 관한 번호 규격[3], 및 적외선에서의 파일전달[4] 기능 등 블루투스 통신 기술과 직접 및 간접적으로 관련된 권고안은 추가로 보완되고 있는 실정이다. 이와 같은 상황에서 블루투스 프로토콜 교육을 수행하는 실습용 장비는 필수적이고 활용도가 많음에도 불구하고 국내외 개발 제품은 전혀 없는 실정이다.

본 논문에서는 무선통신에 사용되는 블루투스 프로토콜 스택 및 프로파일 중 파일전달 기능을 교육하기 위한 교육용

* 본 연구는 국립 안동대학교 기성회 학술연구과제로 수행 되었습니다.
접수번호 : #031130-001
접수일자 : 2003년 11월 30일, 심사완료일 : 2003년 12월 30일

*교신저자 : 정중수, e-mail : jschung@andong.ac.kr

소프트웨어 개발에 대한 설명을 하였다. 아울러 교육생들의 흥미 유발을 위해 파일전달 및 채팅 기능을 제공하였다. 시스템의 설계과정은 블루투스 기술을 처음 접하는 교육자들을 위해 최대한 쉽게 프로토콜 흐름에 대한 명확한 동작의 이해와 그에 따른 프로그래밍 기술력을 학습할 수 있도록 하였다. 설계과정을 살펴보면 하드웨어 주변장비인 블루투스 SDK (Software Development Kit)를 구입하여 RS-232-C, UART나 USB로 PC에 접속하여, PC에서 블루투스 프로토콜의 모니터링 및 에뮬레이션하기 위한 제반 환경을 체계적이고 쉽게 교육하도록 비주얼 C로 개발하였다. 모니터링 교육은 개발된 소프트웨어의 실행파일 수행을 단계별로 동작시키면서 교육생들이 프로그래밍 하여야 하는 영역으로 프리미티브 호출을 하게 된다. 에뮬레이션 교육을 위한 소프트웨어는 시스템이 처음 동작하는 부분의 프리미티브 호출로 교육생들이 프로토콜 흐름에 맞게 프로그래밍 하도록 하였다. 아울러 개발된 소프트웨어를 활용하여 파일 전달 및 채팅 기능을 부가적으로 제공하여 교육의 효율을 높이고자 하였다.

본 논문의 구성은 제 II 절과 제 III 절에서는 블루투스 프로토콜 구조 및 흐름도를 소개하였고, IV 절에서는 교육용 소프트웨어의 기능 및 설계를 서술하였다. 이후 V 절에서는 블루투스 프로토콜 교육용 소프트웨어의 시험환경을 제시한 후 제 VI 절에서 결론을 내렸다.

II. 블루투스 프로토콜 구조

블루투스 프로토콜 구조는 그림 1과 같은 스택 구조를 가지며, 각 계층의 기능을 간략히 언급해 보면 다음과 같다.

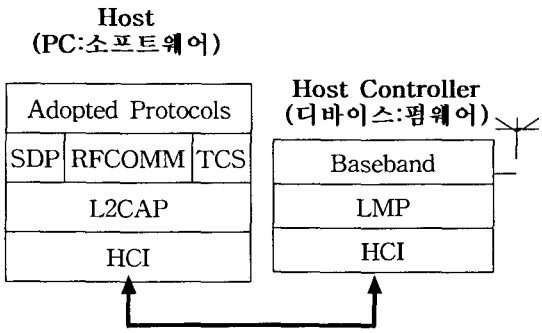


그림 1. 블루투스 프로토콜 구조

HCI(Host Controller Interface) : 호스트와 호스트 컨트롤러(블루투스 디바이스에 포함)와 표준 인터페이스 기능을 제공하고 있다. 대표적인 처리기능은 다음과 같다.

- Reset : 디바이스를 초기화시킴
- Inquire : 주변 블루투스 디바이스를 찾음
- Create Connect : 상대편 블루투스 디바이스와 접속
- Disconnect : 상대편 블루투스 디바이스와 접속 해제

L2CAP(Logical Link Control and Adaptation Protocol) : HCI 상위에 위치하는 프로토콜로 자신보다 상위의 프로토콜 계층에 대하여 다중통신기능, 데이터의 분할과 조합 등의 역할을 담당하며 대표적인 처리기능은 다음과 같다.

- Connect : 상대편 L2CAP과 접속
- Configration : 채널 할당
- Disconnect : 상대편 L2CAP과 접속해제

SDP(Service Discovery Protocol) : 블루투스의 용도를 미리 결정하는 서비스 정보를 제공한다. 대표적인 처리기능은 다음과 같다.

- Service Search : 관련 서비스 요청과 응답 처리 수행
- Service Attribute : 관련 서비스의 자세한 정보의 요청과 응답 처리 수행
- Service Search Attribute : 위의 두 가지 기능을 한꺼번에 처리 함

RFCOMM : 시리얼 포트 에뮬레이션을 위한 케이블 대체 프로토콜로서, 모뎀을 연결하는 RS-232-C 등의 시리얼 송신을 대체하고 있다. 대표적인 처리기능은 다음과 같다.

- SABM : 상대편 RFCOMM과 접속
- DISC : 상대편 RFCOMM과 접속해제
- PN 커맨드 : 상대편 RFCOMM과 접속과 관련된 정보를 교환
- 각종 커맨드 : 흐름 제어나 RS-232-C 제어

TCS(Telephony Control Service) : 무선 전화 기능을 블루투스에서 구현하기 위한 프로토콜이다. 대표적인 처리기능은 다음과 같다.

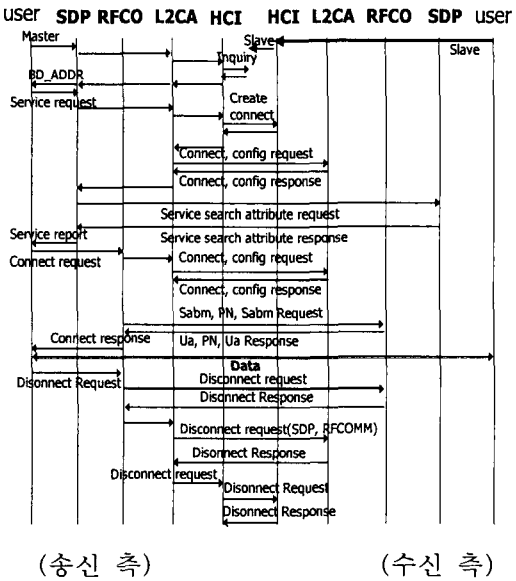
- 호 설정시 사용되는 메시지: Setup, Connect, Connect Acknowledge,
- 호 해제시 사용되는 메시지: Disconnect, Release, Release Complete

Adopted Protocols : GAP(Generic Access Profile), SPP(Serial Port Profile), GEOP(Generic Exchange Object Profile), FTP(File Transfer Profile:파일전달 프로파일), 헤드셋 프로파일 등과 같은 서비스 프로파일 관련 프로토콜이다.

- GAP: 프로파일의 개괄적인 서술을 한다.
- SPP: RFCOMM을 통한 정보 전달로 가상 포트 에뮬레이션을 지원한다.
- GEOP: 일반적인 오브젝트(명함, 파일등)의 처리 기능이다.
- FTP: 실제 파일 전달 기능을 담당한다. FTP는 GAP, SPP, GEOP의 개념적 정의로부터 수행된다.

III. 블루투스 프로토콜 스택 및 프로파일 흐름도

블루투스 프로토콜 스택 및 프로파일 중 파일전달 기능의 호 설정에 대한 전반적인 흐름은 그림 2와 같다. 이는 블루투스 시스템간에 HCI Command 송신 및 HCI Event 수신, HCI ACL (Asynchronous Connectionless) Data 패킷의 송, 수신을 통해 수행된다. HCI는 블루투스 디바이스와 접속되며, 블루투스 디바이스간에는 무선으로 통신된다.



(송신 측) (수신 측)

그림 2. 블루투스 프로토콜 스택의 흐름도

그림 2의 블루투스 프로토콜 스택 흐름을 살펴보면 아래 단계와 같다.

(1) 송신 측과 수신 측의 디바이스 및 스택을 초기화하기 위해 User계층(본 논문에는 FTP 등 실제 상위 프로파일 기능의 소프트웨어에 해당함)에서 Reset 명령을 내린다. 이 명령은 RFCOMM, SDP, L2CAP, HCI 차례로 전달되어 스택을 초기화시키고, 디바이스로 HCI-Reset Command를 보내어 디바이스를 초기화시킨다.

(2) 수신 측 User는 슬레이브 역할을 하는데 이때 HCI-Write Scan Enable 명령을 구동시킨다. 이 명령은 SDP, L2CAP, HCI 순서대로 전달되며, 수신 측 HCI에서는 Write Sacn Enable Command를 펌웨어로 송신하여 수신 측 디바이스를 슬레이브 모드로 들어가게 한다.

(3) 송신 측 User는 마스터 역할을 하는데 이때 HCI-Inquiry 명령을 구동시킨다. 이 명령은 SDP, L2CAP, HCI로 차례로 전달되어, HCI-Inquiry Command를 펌웨어로 송신하여 그 응답으로 HCI-Inquire Result Event(주변 블루투스 어드레스들)를 수신한다. 이 명령어에는 송신 가능한 블루투스 어드레스가 통보되는데, 그 정보를 송신 측 L2CAP, SDP, User계층으로 차례로 전달한다.

(4) 송신 측 User는 통보된 블루투스 어드레스들 중 하나를 선택하여 서비스 조회(Service Search Attribute)를 수행한다. SDP 서비스 조회는 호스트간의 HCI 접속(HCI-Create Connect Command), L2CAP 접속(SDP 채널 할당을 위해 Connect, Configuration)후 수행된다. 서비스 조회로 얻어진 수신 측 서비스 정보를 송신 측 User계층에 보고하여 가능한 서비스(파일전달, 음성전달 등)를 알린다.

(5) 송신 측 User계층에서는 파일전달 서비스를 위해 접속 명령을 수행한다. 이 명령은 호스트간의 L2CAP (RFCOMM 채널 할당을 위해 Connect, Configuration)접속, RFCOMM (SABM, PN, SABM) 접속 후 송신 측과 수신 측 User계층에 파일 전달 서비스가 준비되었음을 알린다.

(6) 송신 측이나 수신 측의 User계층에서 파일을 선택하여 실제 파일 전달이 수행한다.

(7) 연결 해제는 그 반대의 동작으로 RFCOMM 접속해제 (DISC), L2CAP 접속해제 (RFCOMM, SDP 채널에 대한 두 차례의 Disconnect), HCI 접속해제(Disconnect Command) 순서대로 차례로 이루어진다.

IV. 교육용 소프트웨어의 기능 및 설계

본 시스템은 펌웨어를 장착한 블루투스 디바이스가 UART나 USB로 접속된 윈도우 OS 환경 하에서 비주얼 C 컴파일러를 구축한 PC에 설계되었다. 소프트웨어 설계는 구조와 기능의 편의상 프로토콜 계층단위별로 나누어 구현하였다.

1. 교육용 소프트웨어의 기능

블루투스 교육용 소프트웨어는 프로토콜 및 프로파일의 모

니터링과 에뮬레이션, 파일전달 및 채팅 기능을 제공하였다. 프로토콜 및 프로파일의 모니터링과 에뮬레이션을 위해서는 프로그래밍 환경을 체계적이고 쉽게 제공하도록 하였다. 프로그래밍 환경은 교육생들이 블루투스 프로토콜 동작의 명확한 이해와 그에 따른 프로그래밍 기술력을 학습할 수 있도록 하였다.

파일 전달 기능은 계층 별 처리과정 없이 교육생들의 흥미를 유발하기 위해 프로토콜과 프로파일의 관련 스택을 연결한 후 파일 전달 기능을 구현하였다. 아울러 채팅을 할 수 있는 기능과 음성을 전달 할 수 있는 기능도 구현하였다.

1.1. 교육용 소프트웨어의 모니터링 기능

그림 3은 블루투스 프로토콜 흐름을 그림 2에 근거하여 교육용 기능에 맞추어 처리하였다. 이를 쉽게 이해시키기 위해서 그림 3의 좌측에 위치한 프로토콜 및 프로파일 종류를 선택하여 단계별로 버튼을 활성화시켜 처리하였고 프로토콜 데이터 유닛 송, 수신 시 그 정보를 PC 화면에 출력하였다. 이와 같이 본 장비의 PC 화면 출력은 관련 파라미터에 대한 헥사 값의 조합과 그 값의 의미를 연관시켜 사용자가 쉽게 파악하도록 하였다.

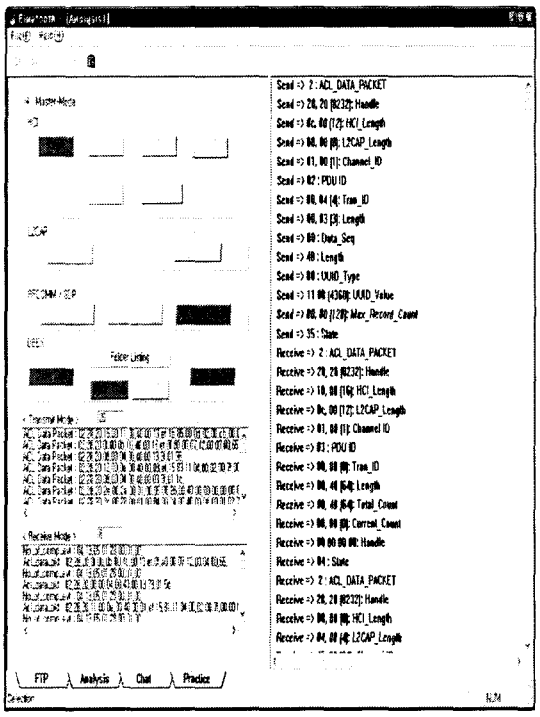


그림 3. 블루투스 프로토콜 모니터링 처리 절차

위 그림에서 HCI 계층처리(접속 및 해제)는 리셋 및 초기화 이후에 수행되며, L2CAP 계층처리도 HCI 계층접속이 완료된 이후에만 가능하다. SDP나 RFCOMM 계층은 L2CAP의 설정이후, OBEX 계층은 RFCOMM 계층 설정이후 처리된다. HCI 계층의 모든 패킷의 종류와 패킷 내부의 파라미터를 헥사 값으로 볼 수 있도록 좌측 하단에 나타내었다.

1.2. 교육용 소프트웨어의 에뮬레이션 기능

에뮬레이션은 그림 4와 같이 HCI를 통한 패킷이 송신되도록 프로그램 코드가 Reset 버턴에 연결되어 시작된다. 이 때 HCI와 펌웨어간 RS232-C를 통한 정보 송, 수신 프리미티브만 제공하여 교육자들이 프로토콜 흐름에 맞게 해당 계의 PDU(Protocol Data Unit) 형태를 직접 코딩할 수 있도록 하였다. 또 HCI를 통한 모든 계층의 송, 수신 패킷을 디스플레이하여 교육생들이 올바르게 코딩하였는지 점검할 수 있다. 그림 4는 에뮬레이션 처리를 위해 프로토콜 계층별 접속 순서를 나타내었다.

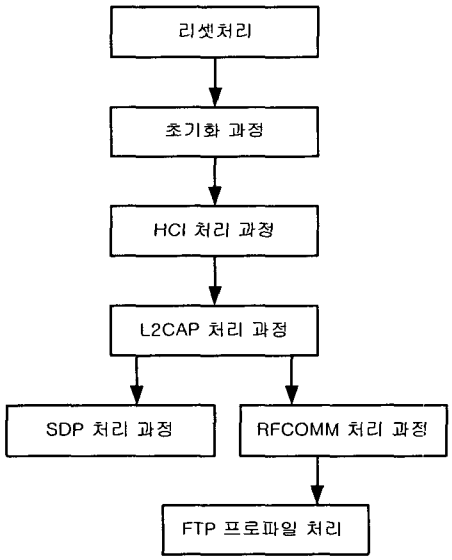


그림 4. 블루투스 프로토콜 에뮬레이션 처리 절차

2. 교육용 소프트웨어의 설계

블루투스 교육용 소프트웨어 구조는 모니터링과 에뮬레이션 소프트웨어 패키지로 분류되며, 그림 5에서는 전반적인 설계 환경과 교육자 입장에서 프로그래밍 하여야 하는 구성 부를 나타내었다.

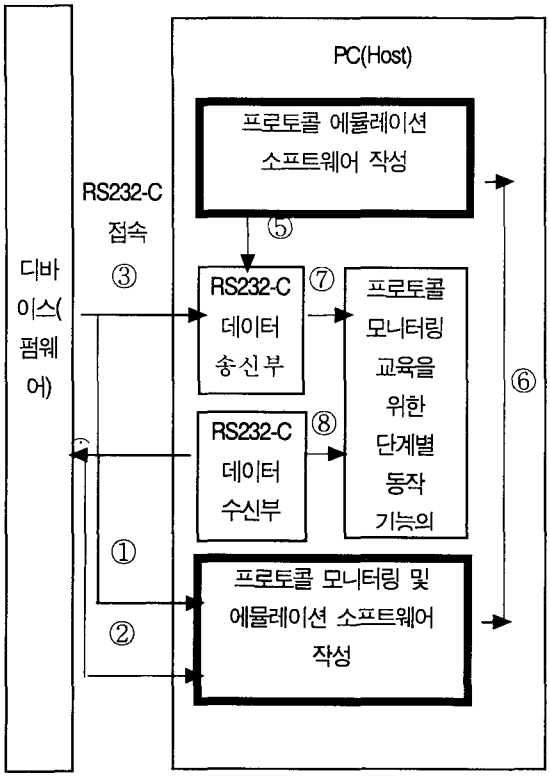


그림 5. 교육용 소프트웨어 처리 과정

위 그림에서 두꺼운 사각형의 의미는 교육자가 직접 프로그램밍 하여야 하는 부분이며, 엷은 사각형은 그 기능을 제공하기 위하여 이미 개발된 프로그램이다.

①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧은 각 기능간 시그널 전달을 의미한다. ①, ②는 펌웨어와 PC간 데이터 송, 수신시 호출되는 프리미티브로 ①은 펌웨어로부터 PC에 있는 HCI 계층으로 정보가 전달될 때 호출되며 그 형식은 tx(uchar *ptr, uint len)이다. *ptr는 정보를 전달하는 데이터의 시작주소이고, len은 그 정보의 길이이다. ②는 rx(uchar *ptr, uint len)이며, PC에 있는 HCI 계층으로부터 펌웨어로 정보가 전달될 때 호출된다. ③과 ④는 RS232-C를 통한 비주얼 C의 송, 수신 함수 호출 부이다. ⑤와 ⑥은 교육생이 에뮬레이션 기능을 수행하기 위하여 사용된다. ⑤는 송신하여야 할 패킷을 형성하여 상대측 시스템으로 전달하기 위하여 호출되고, ⑥은 상대측 시스템으로부터 패킷을 수신하여 프로토콜 흐름에 맞게 해당 패킷을 처리할 때 사용된다. ⑦과 ⑧은 모니터링 시 각 단계별 기능절차를 활성화시키기 위해 RS232-C와의 데이터 송, 수신 과정을 의미한다.

교육용 프로토콜 모니터링 프로그램 환경은 ①, ②, ③, ④, ⑦, ⑧ 시그널이 사용되고, 에뮬레이션 프로그램 환경은 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥ 시그널이 사용된다. 모니터링 환경은 펌웨어와 송, 수신되는 패킷을 HCI 계층에서 프로그램 작성 부로 호출하여서 프로그래밍 하도록 하였다. 에뮬레이션은 HCI를 통한 패킷 수신 부와 그와 관련된 프로토콜 흐름에 맞게 송신 부를 프로그래밍 하도록 하였다. ①은 크게 두 경우에 발생한다. 첫째 교육용 프로토콜 모니터링 환경을 만들기 위하여 ⑦의 시그널에 의한 프로토콜 계층별 제공된 프로그램이 수행되면서 호출되는 경우와 교육용 프로토콜 에뮬레이션 환경을 만들기 위하여 ⑤의 시그널에 의한 교육생이 프로그래밍하여 호출되는 경우이다.

②가 호출되면 PC에서 다음과 같은 기능을 수행한다. 우선 교육용 프로토콜 모니터링 프로그램을 작성하여야 하며, ⑦ 시그널을 구동시켜 다음 단계의 모니터링 절차를 활성화 시켜야 한다. 또 교육용 프로토콜 에뮬레이션 프로그램을 작성하여야 할 경우는 이 프리미티브를 면밀히 분석하여 프로토콜 흐름에 맞게 ⑥시그널을 통해 적절한 응답 패킷을 형성하여 ⑤의 시그널을 구동시킨다.

PC 화면에서 구동시킬 교육용 소프트웨어의 구성 환경은 다음과 같다.

- Main View: 화면에 블루투스 기술적인 정보를 디스프레이 한다.
- 프로토콜/프로파일 처리 부: 파일 전달등에 대한 각종 프로토콜, 프로파일 등의 처리를 수행한다.
- Data Base: 실습하는 교육생들에게 도움말, 세부 명령어 등에 관한 처리 방법과 설명이다.
- Command Analysis: 명령어의 입력 및 처리 기능이다.

프로토콜 모니터링 교육용 소프트웨어 설계는 실제 블루투스 프로토콜 권고안[1,2,3,4]을 참고하였다. 또한 공개된 여러 소스 프로그램 중 리눅스 근간의 공개 소스[5]를 면밀히 분석하여 얻은 정보를 참고하여 교육용 소프트웨어에 맞게 적용시켰다.

파일 전달 기능의 설계는 프로토콜과 프로파일의 관련 스택을 연결한 후 파일 전달 기능을 구현하였다. 그림 6은 실제 그림 파일을 블루투스 기술을 이용하여 전송하고 있는 상황을 보여준다. 이때 파일이 전달되는 과정과 전달되었을 때 실제로 얼마만큼의 에러가 있는지도 확인해 볼 수가 있다. 또한 상대측 블루투스 주소 및 자신의 블루투스 주소의 표시, 마스터나 슬레이브 표시 기능을 추가하여 실습생들의 관심을 고조시켰다.

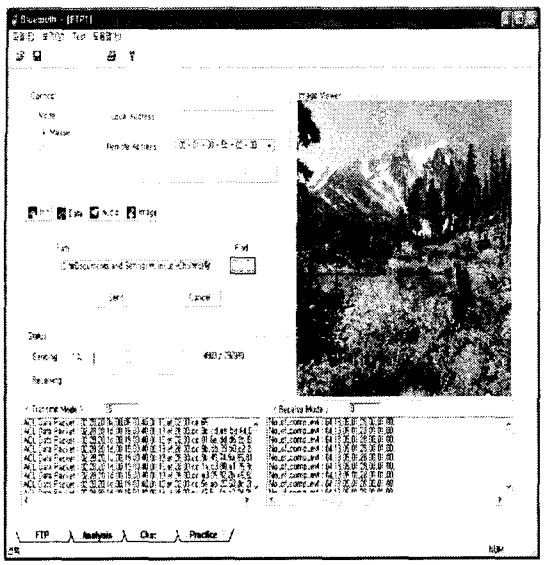


그림 6. 이미지 파일 전송 상황

채팅을 할 수 있는 기능과 음성을 전달 할 수 있는 기능도 구현되었다. 채팅은 프로토콜 스택의 연결후 RFCOMM의 I-프레임의 정보 필드를 이용하여 실현하였고, 채팅 기능은 ACL 링크 접속후 SCO(Synchronous Connection-Oriented) 링크 연결후 PCM 코덱을 통해 전달 하도록 하였다.

V. 교육용 소프트웨어 기능의 시험 환경

최대한의 PC 인터페이스를 제공하기 위해서 그림 7처럼 COM1, COM2 혹은 USB로 통신이 가능하게 하였다

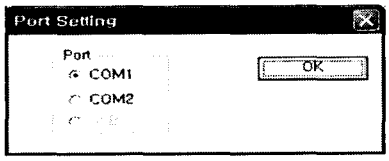


그림 7. PC 인터페이스

본 시스템의 시험환경으로는 피코넷을 형성하여 블루투스 장비간 통신할 수 있으나 본 논문에서는 편리상 두 대의 블루투스 장비간 파일 전달을 수행하여 시험하였다. 본 시스템에서 하드웨어인 디바이스와 소프트웨어가 실장된 PC 간의 UART 통신의 속도는 다양하게 변화가능하나 약 20kbps 이하의 속도를 제외하고는 성능에 영향을 거의 주지 않는 한계치인 115kbps로 시험하였다. 파일 전달을 위해서는 두 개의 블루투스 시스템간 프로토콜 스택으로는 RFCOMM, L2CAP, HCI, SDP가 사용되고, 프로파일로는 GAP, SPP, GEOP, FTP가 사용된다.

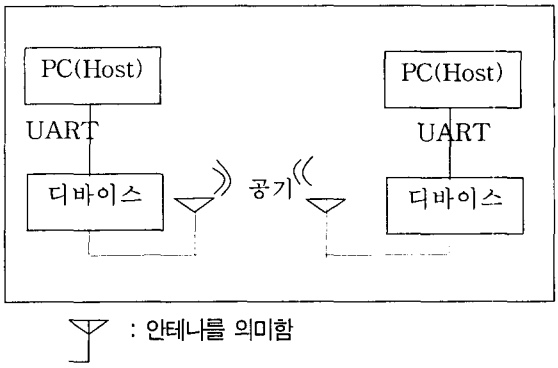


그림 8. 시험환경

VI. 결론

본 논문에서는 PC 환경에서 블루투스 프로토콜의 핵심적인 스택인 HCI, L2CAP, RFCOMM, SDP와 프로파일로는 GAP, SPP, GEOP, FTP를 체계적이고 쉽게 교육하고자하는 교육용 소프트웨어를 비주얼 C로 개발하였으며, 이의 동작과 기능을 제반 환경과 더불어 살펴보았다. 아울러 개발된 소프트웨어를 활용하여 파일 전달 및 채팅 기능을 부가적으로 제공하여 교육의 효율을 높이고저 하였다.

블루투스 프로토콜의 교육용 소프트웨어 기능은 하드웨어인 블루투스 디바이스 위에서 펌웨어를 로딩 하였으며, 디바이스와 RS232-C 및 UART로 접속된 PC에 소프트웨어만 로딩하여 수행하였다. 소프트웨어는 비주얼 C언어로 PC기반 하에서 MS 윈도우를 운영체제로 사용함으로써 별도의 부가 장비 없이 손쉽게 블루투스 프로토콜을 교육할 수 있도록 하였다. 또한 프로파일로는 GEOP, FTP를 개발하여 파일 전달 기능의 실습과 그의 동작과정을 모니터링 하도록 하였다. 또한 계속적인 프로파일 관련 프로토콜의 탑재가 가능하도록 개방된 구조로 설계하였다. 향후 현재의 개발된 프로토콜 위주의 장비에서 기존의 권고된 프로파일과 향후 권고될 프로파일의 개발을 추가하여 완벽한 블루투스 프로토콜 교육용 소프트웨어 개발이 요구된다.

참 고 문 헌

[1] Bluetooth Special Interest Group, "Specification of Bluetooth System", Version 1.0B, http: //www.bluetooth.com, 2001

[2] TS 07.10, Ver 6.3.0, ETSI, 1999

[3] Bluetooth Special Interest Group, "Bluetooth Assigned Numbers", http: //www.iana.org,2001

[4] IrDA Object Exchange Protocol(IrOBEX), "Infrared Data Association" ,1999

[5] Axis Linux Bluetooth software, http: // www.developer.com, 2001

정 중 수(Joong-Soo Chung) 정회원

1981년 2월 : 영남대학교 전자공학과 (공학사)

1983년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

1993년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

1983년 3월 ~ 1994년 2월 : ETRI 연구원, 선임연구원

1987년 8월 ~ 1989년 8월 : 벨지움 Alcal/Bell Telephone사 객원연구원

2000년 1월 ~ 2001년 1월 : 미국 UMASS/Lowell 전산학과 객원교수

1994년 3월 ~ 현재 : 국립 안동대학교 공과대학 전자정보산업학부 부교수