

임베디드 시스템 상에서 블루투스 프로토콜 스택 개발

이 상 학[†] · 정 태 충^{††}

요 약

RF 기술 및 무선 네트워크의 발전은 다양한 형태의 새로운 네트워크가 제시되고 개발될 수 있도록 하였다. 다양한 응용분야에서 사용될 수 있는 블루투스 기술은 가장 많이 알려진 무선 개인 영역 네트워크(WPAN: Wireless Personal Area Network) 표준이다. 음성, 데이터의 동시 처리가 가능한 무선 네트워크 통신 표준인 블루투스는 표준 프로파일을 기반으로 하여 다양한 응용 애플리케이션들이 나와 있다. 본 논문에서는 블루투스 기기들의 네트워크 접속을 위한 블루투스 네트워크 액세스 포인트(AP: Access Point) 개발에 대해 기술하였다. 이미 시장에 출시되어 있는 블루투스 마우스, 키보드, 헤드셋 등의 주변장치와 다르게 액세스 포인트는 네트워크 접속장치로서 다중접속, 전송 속도 등을 안정적으로 지원해야 한다. 임베디드 시스템 상에서 표준 규격을 만족하는 블루투스 액세스 포인트를 구현하기 위해 시스템을 설계, 개발하였으며, 블루투스 프로토콜 코어 스택과 프로파일을 구현하여 기능 및 성능을 평가하였다. 다양한 제품과의 접속 테스트를 통해 규격에 호환됨을 보였고, 기존의 블루투스 프로토콜 스택과 비교하여 우수한 네트워크 성능 평가 결과를 나타내었다.

Development of Bluetooth Protocol Stack on Embedded System

SangHak Lee[†] · TaeChoong Chung^{††}

ABSTRACT

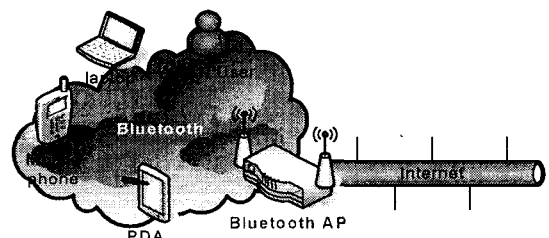
Recent advancement in RF technology and wireless communications has enabled the development of noble networks. Bluetooth that can be used in various application field is a kind of WPAN(Wireless Personal Area Network) standard that is widely known. Bluetooth enables voice and data applications to operate simultaneously. Various applications have been implemented based on standard profiles. In this paper, we describes the development of Bluetooth network AP(Access Point) system for network connection of Bluetooth devices. Unlike headset, mouse, and keyboard, the access point should have capability to support multiple connection and stabilized network throughput. We have designed and developed the hardware system, core stack and profiles on embedded system to comply with standard specification. Our system showed compatibility and good protocol performance through testing with lots of products that is available in market.

키워드 : 블루투스(Bluetooth), 무선 개인영역네트워크(WPAN(Wireless Personal Area Network)), 액세스포인트(Access Point), 임베디드 시스템(Embedded System)

1. 서 론

저가, 저전력의 개인 영역 무선 네트워크를 목표로 하여 만들어진 블루투스는 음성, 데이터 통신을 동시에 지원하며 여러 응용 프로파일들이 정의되어 있어 다양한 응용에서 사용되고 있다. 블루투스가 응용되는 기기들은 핸드폰의 무선 핸드프리, 무선전화기, 마우스, 키보드, 노트북 컴퓨터, 개인 휴대 정보 단말기, 액세스 포인트 등이다[10]. 대부분은 근거리에서 저속의 데이터를 전송하는 응용 애플리케이션에서 이용된다. 본 논문의 액세스 포인트는 블루투스를 사용하여 개인 휴대 정보 단말기, 노트북 컴퓨터 등에서 인터넷에 접속하려 할 때, 무선 블루투스와 유선 인터넷을 연결해 주는 기능을 수행하는 독립형 시스템(stand-alone system)이다[5]. 아래 그림은 개발된 블루투스 액세스포인트의

동작 환경이다.



(그림 1) 블루투스 액세스 포인트 구성도

현재 블루투스가 탑재되어 출시되거나 블루투스 모듈을 추가 장착한 노트북 컴퓨터, 이동 전화, 개인 휴대 정보 단말기 등에서 인터넷 접속 시 블루투스 무선 네트워크를 사용한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 블루투스 액세스 포인트를 개발하기 위한 기반 기술들, 즉 블루투스, 임베디드 시스템에 대해 살펴보겠다. 3장에서는 시스템

* 본 연구는 과학기술부 유비쿼터스 컴퓨팅 프론티어사업(04A2-U2-20형) 지원으로 수행되었음.
[†] 정 회 원 : 전자부품연구원 유비쿼터스컴퓨팅연구센터 선임연구원
^{††} 정 회 원 : 경희대학교 컴퓨터공학과 교수
 논문접수 : 2003년 9월 18일, 심사완료 : 2004년 3월 22일

개발을 위한 개발환경에 대해 알아보고 4장에서는 임베디드 시스템 상에서의 블루투스 프로토콜 스택의 효율적인 구현을 위한 구조 설계 및 구현에 대해 설명한다. 5장에서는 개발된 시스템의 기능 및 성능 시험을 위한 다양한 제품들과의 테스트를 수행하여 개발된 시스템과 프로토콜이 표준에 따라 정확히 개발되었음을 보이고자 한다. 마지막으로 6장에서는 결론 및 향후 연구 방향으로 끝을 맺고자 한다.

2. 관련 연구

임베디드 블루투스 액세스 포인트 시스템을 개발하기 위해서는 여러 기술들을 필요로 한다. 우선 블루투스 프로토콜에 대한 구현 기술, 범용 시스템이 아닌 자립형 임베디드 시스템을 설계하고 구현하기 위한 기술, 그리고 임베디드 시스템의 중요한 기술 요소인 임베디드 운영 체제 이다. 본 연구에서는 임베디드 리눅스를 채택하여 개발되었으며, 블루투스 프로토콜 역시 그 위에서 개발되었다. 시스템을 구성하는 이와 같은 기술들의 연구동향과 개발에 미치는 영향에 대해 알아보겠다.

2.1 블루투스

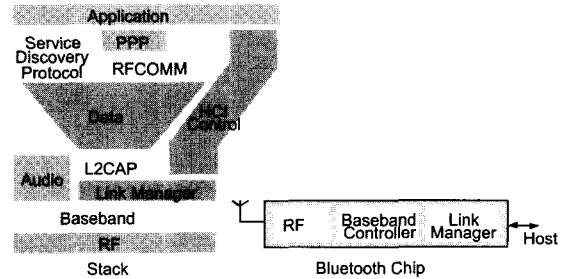
블루투스는 2.4GHz ISM(Industrial scientific and medial) 라디오 밴드 대역을 사용하는 개인 영역 무선 네트워크 표준 프로토콜이다. 1998년 Erisson, Nokia, IBM, Toshiba, Intel 등 5개사 모여 라이선스가 없는 핸드헬드 기기의 무선 접속을 위한 기술을 만들고자 했다. 이후 2001년 2월 RF 무선 통신 인터페이스와 이와 관련된 프로토콜을 정의한 표준안 1.1이 만들어졌다[1]. 표준안은 크게 두 부분으로 나뉘어져 있는데 프로토콜 전체 계층을 정의하는 코어 규격 (Core Specification)과 블루투스 기기간의 상호연동을 위한 응용 애플리케이션을 지원하기 위한 프로파일 규격 (Profile Specification)이다. 현재까지 21개의 프로파일이 정의되어 있다.

블루투스를 이용하여 시스템을 구성하려 할 때는 RF와 베이스밴드가 단일 칩으로 된 블루투스 칩과 유니버설 시리얼 버스(USB : Universal Serial Bus, 이하 USB), 범용 비동기화 송수신기(UART : universal asynchronous receiver/transmitter, 이하 UART), PCMCIA 표준 인터페이스를 통해 호스트와 통신한다. 블루투스 프로토콜 스택과 칩의 구조는 다음 (그림 2)와 같다.

다음 그림에서 L2CAP(Logical Link Control and Adaptation Protocol) 상위 프로토콜은 별도의 호스트 프로세서에서 수행된다. 블루투스 프로토콜은 개인용 컴퓨터, 개인 휴대 정보 단말기, 휴대폰, 이동형 단말 등 다양한 형태의 디바이스에 구현되어 응용되고 있다.

블루투스 프로토콜 스택은 블루투스 칩과 애플리케이션을 연결하는 미들웨어로서 모든 하드웨어에 반드시 탑재되어야 하는 필수적인 소프트웨어이다. 국내에서 인증을 받은 업체는 한국무선네트워크, 씨코드 등이 있으며, 칩셋 공급 업체인 GCT도 스택 인증을 받은 상태이다. 그러나 개인용

컴퓨터는 Widcomm(미국)이, 헤드셋 등 임베디드 분야는 칩셋 업체에서 스택을 제공하는 상황이어서 실제 적용은 제한적이다[11].



(그림 2) 블루투스 스택과 칩 구조도

2.2 임베디드 시스템

임베디드 시스템은 우리 생활에서 쓰이는 각종 전자기기, 가전제품, 제어장치 중 단순히 회로로만 구성된 것이 아니라 마이크로프로세서가 내장되어 있고, 그 마이크로시스템을 구동하여 특정한 기능을 수행하도록 프로그램이 내장되어 있는 시스템을 가리킨다[2]. 우리가 현재 널리 사용하고 있는 개인용 컴퓨터는 매우 강력한 컴퓨팅 능력을 지니고 있어 다양한 응용 애플리케이션이 수행될 수 있는 범용성을 지니고 있다. 이에 비해 임베디드 시스템은 전용 기능만을 수행하기 위해 최적화된 하드웨어, 소프트웨어로 구성된다. 따라서 전체 시스템 가격이나 전력을 낮추기 위해 시스템에 많은 하드웨어적인 제약을 가하고 범용 운영체제를 사용하기 보다는 일반적으로 특화된 실시간 운영체제를 사용한다[2].

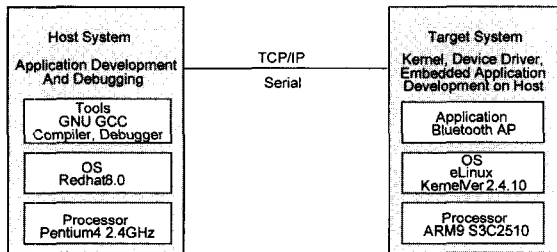
임베디드 시스템에 들어가는 운영체제는 초기에는 시스템이 단순하여 필요하지 않았지만, 시스템 자체가 커지고 네트워크나 멀티미디어가 시스템에 장착되면서 기능이 복잡해졌기 때문에 실시간 운영체제가 도입되었다. 초기에는 상용 실시간 운영 체제(RTOS : real-time operating system)가 주로 이용되어 개발되었으나 리눅스의 성능과 안정성이 입증되고 다양한 프로세서들을 지원하기 시작하면서 리눅스를 활용한 응용 사례가 늘어가고 있다. 현재 리눅스가 지원하는 프로세서는 인텔 계열, 알파, 파워 PC, MIPS, ARM 계열, SH 계열을 지원하고 있다. 또한 각종 주변 장치들의 드라이버 개발도 용이하다. 본 논문의 시스템 역시 임베디드 리눅스를 기반으로 개발하였다.

임베디드 시스템의 개발 시에는 일반적으로 커널, 디바이스 드라이버, 그리고 기본적인 GNU 컴파일러 툴 체인을 갖추어야 한다. 이외에 일부 임베디드 리눅스 소프트웨어 개발 벤더들은 포괄적인 개발 툴들과 구성 요소들을 제공한다. 이 툴들에는 일반적으로 크로스 컴파일러, 디버거, 에디터, 구성 툴, 디바이스 드라이버, 파일 시스템, 네트워킹 스택 및 유틸리티가 포함된다[8].

3. 개발 환경

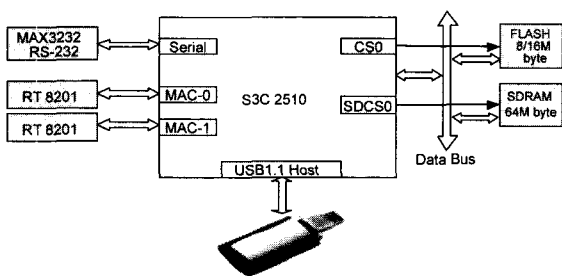
임베디드 블루투스 액세스 포인트를 개발하기 위해서는

프로세서 선정, 시스템 설계, 그리고 프로세서에 맞는 개발 환경을 구축하는 단계가 있다. 개발된 시스템에서는 ARM940T 계열의 삼성 S3C2510 프로세서를 사용하여 개발되었는데, 이 프로세서는 기억 관리 장치(MMU: Memory Management Unit))를 가지고 있지 않다. 기억 관리 장치가 없는 프로세서 시스템에서 운영 체제의 포팅 작업을 위해서는 이에 맞는 적절한 운영 체제의 선정과 추가적인 개발 작업이 필요하다. 따라서 본 시스템에서는 기억 관리 장치가 없는 프로세서를 위해 커널이 수정된 uCLinux를 이용하였다. 프로세서를 선정한 후, 프로세서에 맞는 임베디드 시스템 개발 환경을 갖추었다. 일반적으로 호스트 시스템에서 크로스 컴파일러를 이용해 운영 체제의 커널, 디바이스 드라이버, 애플리케이션을 개발한 후, 이를 타깃시스템으로 네트워크를 이용해 다운로드 한 후 동작시킨다. 아래 (그림 3)은 이와 같은 개발환경을 도식화한 것이다.



(그림 3) 시스템 개발 환경도

블루투스 액세스 포인트 시스템 내에서의 블루투스 모듈과 프로세서 간에는 USB 인터페이스를 통해 통신하였다. 블루투스 모듈에서는 RF와 베이스밴드 계층까지 처리하고 상위 프로토콜은 호스트 프로세서에서 처리한다. 설계된 하드웨어 시스템의 블록도를 아래 그림에 나타냈다.



(그림 4) 하드웨어 시스템 블록도

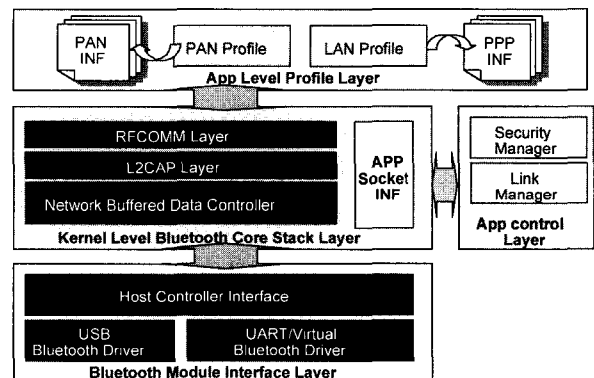
본 시스템은 프로세서 내부에 USB 호스트 인터페이스를 내장하고 있어 블루투스 동글과 직접 연결이 가능하다. 유선 네트워크는 두 개의 매체 접근 제어(MAC: Media Access Control) 칩을 내장하고 있어 RT8201 물리층 프로토콜(PHY: Physical Layer Protocol) 칩을 연결하였다. 시리얼 통신을 위해 MAX3232칩을 사용하였다. 그 외에 메모리는 플래시 메모리 8Mbyte와 동기식 동적 램(SDRAM: synchronous

1) 가상 어드레스를 물리 어드레스로 변환하는 기능과 메모리 접근 권한 제어 기능을 수행 함.

dynamic random access memory) 64Mbyte가 탑재되었다. 유선 이더넷은 블루투스를 유선 네트워크에 연결하기 위해 반드시 있어야하며 시리얼 인터페이스는 개발 중 디버깅을 할 때 사용하였다. 이와 같은 개발환경과 하드웨어 플랫폼 상에서 블루투스 프로토콜 및 프로파일의 구현에 대한 내용을 다음 장에 기술한다.

4. 시스템 설계 및 구현

블루투스 프로토콜 스택은 기본적으로 표준 규격을 충실하게 따라 만들어졌다. 본 논문의 블루투스 액세스 포인트는 피코 넷의 마스터 기능을 수행한다. 블루투스에서 피코 넷의 마스터는 최대 7대까지의 슬레이브의 접속을 허용한다[6]. 따라서 본 시스템 역시 7대의 블루투스 기기들이 접속하도록 설계, 구현되었다. 또한 블루투스를 통해 네트워크에 접속하는 응용 프로파일은 규격에 LAP(Lan Access Profile, 이하 LAP)과 PAN(Personal Area Networking Profile, 이하 PAN)의 두 가지로 정의되어 있다. 본 시스템에서는 이 두 가지 프로파일을 모두 구현하였다. 다음 그림은 구현된 블루투스 스택의 구조를 나타낸 그림이다.



(그림 5) 블루투스 프로토콜 스택 구조도

개발된 스택은 계층적 구조로 이루어져 있다. 다음은 프로토콜의 설계에 대해 기술한다.

4.1 시스템 설계

프로토콜과 프로파일은 세 계층과 네 개의 모듈로 구성된다. 가장 하위 계층부터 블루투스 모듈 인터페이스 계층, 커널 레벨 블루투스 코어 스택 계층, 애플리케이션 제어 계층, 그리고 애플리케이션 레벨 프로파일 계층으로 구성된다.

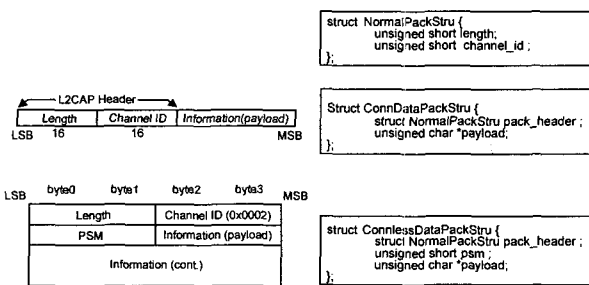
위 모듈 중 프로파일과 제어 계층이 리눅스 시스템의 애플리케이션 레벨에서 동작하고 그 밑의 하위 계층들은 리눅스 커널 레벨에서 동작한다. 본 시스템에서 사용한 프로세서가 기억 관리 장치가 없기 때문에 애플리케이션에서 메모리를 동적으로 할당하고 사용하는데 제약을 가진다. 또한 멀티 프로세싱을 위한 쓰레드를 사용하기 어려운 환경이다. 따라서 이를 시스템 레벨에서 동작시킴으로써 메모리의 할당이 손쉽게 하였다. 7대 클라이언트 동시접속을 위

해 시스템 시작 시에 7개의 상주 프로그램을 동시에 시작하도록 하였고 이들은 클라이언트와의 연결 접속 설정, 해제를 지속적으로 수행하며 동작한다.

각 계층 간의 인터페이스는 애플리케이션 레벨인 프로파일 계층과 제어 계층에서 코어 스택 계층을 시스템 콜로 호출한다[9]. 코어 스택 계층 내에서의 프로토콜 계층 간의 통신은 네트워크 데이터 버퍼를 사용하여 메시지를 주고받는다. 이제 각 계층별 구현 내용을 살펴본다.

4.2 블루투스 커널 레벨 프로토콜 계층

블루투스 모듈 인터페이스 계층은 주로 블루투스 모듈과의 하드웨어 인터페이스를 담당한다. 드라이버계층은 실제 하드웨어 모듈과의 인터페이스 드라이버이다. 드라이버는 USB와 UART 버스에 대해 구현되었다. 그 상위의 호스트 컨트롤러 인터페이스(HCI : Host Controller Interface)는 블루투스 모듈을 다른 호스트에 끼워 사용할 경우, 모듈과 호스트를 연결하는 전송버스를 통해 통신할 수 있도록 하는 프로토콜 계층이다[1].



(그림 6) L2CAP 계층 데이터 패킷 구조체

코어 스택 계층은 일부 응용 애플리케이션을 제외하고 블루투스 기기들이 동작하기 위해 반드시 구현되어야 하는 프로토콜이다. L2CAP(Logical Link Control and Adaptation Protocol)은 여러 채널의 통신이 가능하게 제어하고 다중화 기능과 상위 프로토콜 계층의 긴 패킷을 하위 프로토콜 계층의 작은 패킷 크기에 맞게 분해하고 패킷 헤더를 추가한다. 즉, 상위 프로토콜 계층에 맞도록 패킷을 다시 조립하는 과정인 SAR(Segmentation and Reassembly) 기능을 수행한다[1]. 다음 그림은 구현된 프로토콜 내에 정의된 구조체 중 데이터 패킷에 대한 정의를 일부 발췌한 코드이다. 그림 좌측은 표준 규격의 데이터 패킷에 대한 그림이고, 우측은 이를 C언어의 구조체로 프로그램 한 것이다.

RFCOMM 프로토콜은 시리얼 라인은 에뮬레이션 함으로써 COM 포트를 사용하는 기존 프로토콜과 애플리케이션들이 블루투스 디바이스를 사용할 수 있게 한다[3]. 본 시스템인 액세스 포인트의 경우 LAP에서 반드시 필요로 하는 프로토콜이다.

링크 매니저는 LMP(Link Manager Protocol)을 이용하여 물리적 링크의 파라미터들을 협상하고 설정하여 물리적 링크를 관리한다. 이 계층들 간의 수신한 패킷이나 송신할 패킷은 네트워크 데이터 버퍼를 통해 읽고 쓰게 된다. 버퍼는

대기열 (Queue) 데이터 구조를 이용하여 구현하였다.

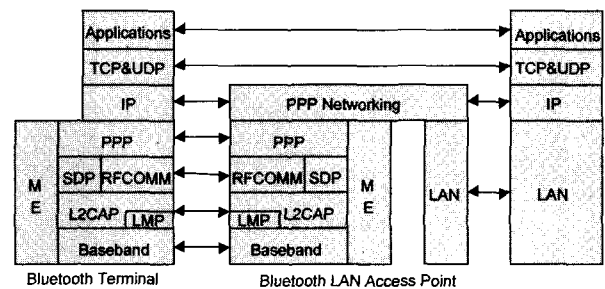
커널 레벨 프로토콜들은 C언어를 사용하여 구현되었으며 시스템 환경에 의존도를 최소화하여 이중 시스템에 쉽게 포팅 가능하다. 임베디드 장비의 경우 개인용 컴퓨터의 개발환경과는 다르게 다양한 개발 환경들이 상존하고 있다. 따라서 보다 많은 장비에서 빠르게 개발하기 위해서는 이식성을 높여야 한다.

4.3 블루투스 애플리케이션 레벨 프로토콜 계층

블루투스 애플리케이션 레벨 프로토콜은 블루투스 규격에서 프로파일(Profile)이라 불린다. 이는 다양한 특성의 기기들이 서로 통신을 할 수 있도록 특정 응용 프로그램(예, 네트워크 접속, 음성통화 등)에서 필요한 프로토콜들을 명확히 정의하여 각 회사들이 그 정의에 따라 프로토콜 계층을 구현하게 한다[7].

블루투스에서 네트워크 접속을 위해 정의된 프로파일은 LAP과 PAN이다. 두 프로파일은 다른 구조를 정의하여 네트워크 접속방법을 구현하도록 하였다. 본 시스템에서는 두 가지 프로파일을 모두 구현하여 블루투스를 이용하여 네트워크에 접속하고자 하는 블루투스 기기들을 최대한 수용하고자 노력하였다.

IEEE 표준에서 이기종 LAN 기기간의 연결을 위해 논리적 연결 제어(LLC : Logical Link Control) 계층을 정의하고 있다. IEEE802.3(CSMA/CD), IEEE802.4(Token Bus), IEEE802.5(Token Ring), IEEE802.11(Wireless) 등을 수용하여 상이한 매체 접근 제어를 가진 이들 상위에서 IEEE802.2(LLC)가 놓여 이들 간의 인터페이스를 정의한다. 본 시스템의 블루투스 역시 이들 중의 하나로 간주되어 논리적 연결 제어 계층에서 이더넷과의 연결 한다[4].



(그림 7) 블루투스 LAP 구조도

우선 LAP에 의한 네트워크 접속을 위한 구현은 아래 그림에 프로토콜 구조도에 따른다. 본 그림은 블루투스 규격 Ver1.1에 정의되어 있다.

LAP에 의한 네트워크 접속은 프로파일 레벨에서 PPP 프로토콜을 구현하였다. 이는 블루투스를 하나의 시리얼 통신기기로 간주하여 상위 애플리케이션에서는 기존의 사용환경을 그대로 유지하여 사용할 수 있도록 한다. 따라서 리눅스 시스템에서 본 구현된 프로토콜을 하나의 가상 시리얼통신 디바이스로 설정되게 된다[5]. 다음 그림은 LAP에 플리케이션의 초기 실행 코드이다. 본 논문에는 주요 함수

만을 기록하여 프로토콜의 동작 흐름을 나타내었고, 변수는 기록하지 않았다.

```

Int main(void)
{
    char devname[20] = "ttyS0";

    /* 스택의 Timer, Interrupt 초기화 */
    InitTimerInterrupt();
    SetupTimer();
    /* RFCOMM, SDP, L2CAP, HCI 계층 별 초기화 */
    Ret = BTInit(devname);

    /* Bluetooth Module Reset */
    nRet = HciResetHardware(devname);

    /* PAGE DISCOVERY 관련 파라미터 값 설정 */
    EnableDevice();

    /* Security 관련 파라미터 설정 */
    SetSecurity();

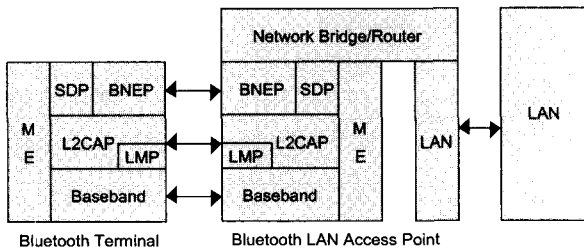
    /* Master/Slave 모드 설정 */
    SetDeviceRole();

    /* 프로토콜 초기화 되었음 표시 */
    gStatus = 1;
    /* PPP 서비스 초기화 */
    ServiceInit();

    return Ret;
}
    
```

(그림 8) 프로파일 실행 코드

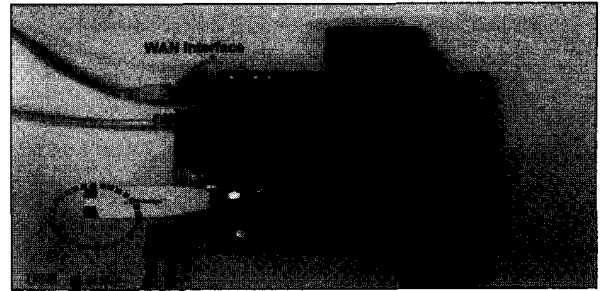
또 다른 네트워크 접속 방법으로는 PAN이 있는데, 이 프로파일에서는 PPP 통신을 이용하지 않고 BNEP(블루투스 Network Encapsulation Protocol) 규격을 정의하여 블루투스 패킷과 IEEE802.3/Ethernet 패킷간의 직접 변환을 통한 네트워크 브리징이 이루어지도록 하였다. 다음 그림은 블루투스 PAN 프로파일의 네트워크 프로토콜 스택 구조도를 나타낸 것이다.



(그림 9) 블루투스 PAN 구조도

본 시스템에서는 LAP과 PAN 프로파일들이 동시 동작하도록 구현되었으며, 블루투스 디바이스들의 다중 접속이 가능하도록 하였다. 다음 그림은 실제 개발된 하드웨어 시스템의 사진이다.

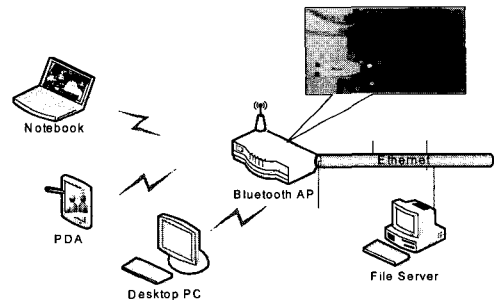
사진에서 플랫폼 외부의 왼쪽에 장착된 기기가 블루투스 USB Dongle이다. 유선 네트워크 연결을 위해 두 개의 이더넷이 장착되어 있으며, 추가적인 기타 장치들의 사용을 위해 사진 오른쪽의 PCMCIA 슬롯이 내장되었다.



(그림 10) 블루투스 액세스포인트 H/W 플랫폼 사진

5. 성능 및 기능 실험

개발된 블루투스 네트워크 액세스포인트의 기능 및 성능 측정을 위해 시중에 판매되고 있는 블루투스 장치들을 이용하여 실험하였다. 개발된 액세스포인트에 장착하여 사용된 블루투스 USB Dongle은 하스넷사의 BUD, 휴천인터넷사의 Blueberry, 3COM사의 USB Adapter, Unwill사의 USB Adapter 등이다. 클라이언트 단말기는 HP사의 개인 휴대 정보 단말기 iPAQ 5450와 일반 노트북 컴퓨터에 블루투스 USB Dongle을 장착하여 실험하였다. 성능 실험은 외부 네트워크의 영향을 배제하기 위해 랜 환경 내에서 수행하였고 다음 그림은 실험 환경도이다.



(그림 11) 시스템 실험 환경도

여러 제조사의 제품을 사용하여 프로토콜 스택을 동작시킴으로써 다른 제조사에서 개발된 블루투스 모듈과 시스템이 호환됨을 보이려 하였고, 제품 간에 성능 차이가 발생하는지 여부를 확인하였다. 제품의 데이터 전송 성능 측정은 일반적인 파일 전송을 수행하여 속도를 측정하였다. 본 논문에서 개발한 프로토콜의 성능을 비교 평가하기 위해 기존의 오픈 프로젝트로 개발된 BlueZ의 전송속도를 측정 비교해 보았다[12]. 다음 표는 실험 결과를 정리한 것이다.

<표 1> 블루투스 액세스포인트의 성능 측정표

블루투스 단말제품	네트워크 접속 속도	
	개발 시스템	BlueZ
HP iPAQ 5450 (블루투스 내장)	400~450Kbps	350~400Kbps
하스넷 BUD	580~600Kbps	500~550Kbps
휴천인터넷 Blueberry	570~590Kbps	480~500Kbps
3COM USB Adapter	560~600Kbps	490~550Kbps
Unwill USB Adapter	520~580Kbps	480~510Kbps

위의 4개 사의 상용 블루투스 모듈을 개발된 시스템에 장착하여 실험한 결과 모두 이상 없이 연결, 동작하였다. 이를 통해 블루투스 모듈과 개발 시스템 간에 호환됨을 확인 했으며, 이들을 노트북 컴퓨터에 장착하여 네트워크 접속 속도를 측정하여 보았다. 모듈 간에 작은 차이를 보였으나 성능 차이가 있다고 할 수 있을 정도는 아니다. 다만 실험에 사용한 개인 휴대 정보 단말기인 HP iPAQ5450의 경우 노트북 컴퓨터에 비해 성능이 떨어짐을 알 수 있었다. 개발된 시스템은 장착될 USB과의 호환성이 충족되었으며, 성능 면에서도 규격에 근접한 뛰어난 결과를 보였다. 또한, 기존의 프로토콜과 비교해서 전체적으로 보다 우수한 성능을 나타내었다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 블루투스 표준 규격을 따라 개발된 독립형(stand-alone) 임베디드 액세스 포인트 시스템의 설계 및 구현에 대해 알아보았다. 임베디드 시스템의 개발은 특성상 주어진 태스크에 최적화된 하드웨어, 소프트웨어를 구성하여 개발되어야 한다. 본 논문에서는 이를 위해 프로세서의 선택에서부터 플랫폼 설계 및 구현과 이를 기반으로 하는 시스템 소프트웨어 구조 설계, 시스템 소프트웨어 이식, 구현 등의 단계를 거쳐 체계적으로 개발하였다.

기억 관리 장치가 없는 프로세서의 환경에서 애플리케이션의 기능을 구현하기 위한 새로운 구조를 설계하고 개발하였다. 이를 검증하기 위해 다양한 블루투스 모듈을 이용하여 실험하였으며 그 결과, 기능 및 성능에서 매우 우수한 결과를 보였다.

향후에는 이러한 소형화된 임베디드 기기들이 보다 많이 개발되고 사용될 것이다. 이를 위해서 시스템의 안정화, 저전력화 및 최적화된 리소스의 예측을 통한 개발 등의 기술들에 대한 연구가 심화되어야 할 것이다. 또한 임베디드라는 분야는 개발환경에도 프로젝트에 따라 많은 차이를 가지므로 이러한 환경에서 빠르고 안정적으로 소프트웨어를 개발할 수 있도록 이 분야에 많은 연구가 이루어져야 하리라 생각된다.

또한 블루투스만의 고유한 기능이라 할 수 있는 음성, 데이터를 동시 지원하도록 본 논문의 프로토콜 스택을 기반으로 음성 지원을 위한 무선 전화 프로파일을 개발하여 음성, 데이터 통합 시스템으로 확장시켜 나갈 것이다.

참 고 문 헌

[1] 이태진, 강우식, 이재율, "근거리 무선 통신 시스템 : 블루투스," 한국통신학회지(THE PROCEEDINGS OF THE KOREAN INSTITUTE OF COMMUNICATION SCIENCES) : 정보통신, Vol.17, No.11, pp.63-73, 1226-4725, Nov., 2000.
 [2] 박영환, 임베디드 시스템 & 임베디드 리눅스, 사이텍미디어, 2002.

[3] S. Chiu, H. Chang and R. Chang, "Providing Mobile LAN Access Capability for Bluetooth Devices," Parallel and Distributed Systems, 2002. Proceedings. Ninth International Conference, pp.631-636, Dec., 2001.
 [4] J. Chen, and K. Yen, "Transparent bridging support for Bluetooth-IP service interworking," International journal of network management, pp.379-386, May, 2002.
 [5] Y. Lim, J. Kim, S. Min, and J. Ma, "Performance Evaluation of the Bluetooth-based Public Internet Access Point," Information Networking, 2001, Proceedings, 15th International Conference, pp.643-638, Feb., 2001.
 [6] Bluetooth SIG, Specification of the Bluetooth System-Core, 2001.
 [7] Bluetooth SIG, Specification of the Bluetooth System-Profiles, 2001.
 [8] 박재호, 임베디드 리눅스, 한빛미디어, 2001.
 [9] R. Kraemer, "Bluetooth based wireless Internet applications for indoor hotspots : experience of a successful experiment during CeBIT 2001," Local Computer Networks Proceedings, LCN 2001, 26th Annual IEEE Conference, pp.518-524, Nov., 2001.
 [10] P. Bhagwat, "Bluetooth : Technology for Short-Range Wireless Apps," Internet Computing, IEEE , Vol.5, Issue3, pp.96-103, May, June, 2001.
 [11] 전자부품연구원, "블루투스 산업현황", July, 2003.
 [12] <http://www.bluez.org>.



이 상 학

e-mail : shlee@keti.re.kr

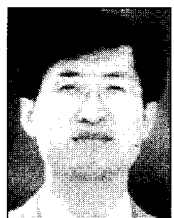
1993년 전주대학교 수학과(이학사)

1997년 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)

2000년 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 (박사수료)

2000년~현재 전자부품연구원 유비쿼터스컴퓨팅연구센터 선임 연구원

관심분야 : Sensor Network, Combinatorial Optimization, Meta-Heuristic Algorithm



정 태 충

e-mail : tchung@khu.ac.kr

1980년 서울대학교 전자공학과(공학사)

1982년 한국과학기술원 대학원 전자계산 공학과(공학석사)

1987년 한국과학기술원 대학원 전자계산 공학과(공학박사)

1987년~1988년 KIST 시스템 공학센터 선임연구원

2001년 미국 Iowa 대학 교환교수

1998년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 정교수

관심분야 : 인공지능, 지능에이전트, 메타알고리즘