

웹 기반 하드웨어 원격감시 및 제어를 위한 초소형 내장형 웹 서버 시스템의 구현

(Implementation of Embedded Micro Web Server for Web based Remote Hardware Control and Monitor)

한경호*

(Kyong-Ho Han)

요 약

본 논문에서는 인텔사의 StrongARM 프로세서에 내장형 리눅스 운영 시스템을 실장하여 내장형 웹 서버를 구현하고 ARM 프로세서에 연결된 병렬포트의 입·출력을 HTTP 프로토콜을 이용하여 범용 웹 브라우저에 의하여 제어하는 초소형 웹 서버 시스템을 구현함을 다루었다. 이를 위하여 리눅스 운영 시스템의 HTTP를 실장하고 CGI에 의한 병렬포트 제어 프로그램을 구현하여 프로세서 보드의 메모리에 실장한다. 프로세서의 병렬포트에 입·출력을 제어하는 하드웨어 기능을 웹 서버와 브라우저를 이용하여 원격에서 제어할 수 있도록 구현하고 실험을 통하여 내장형 웹 서버의 구현을 보였다.

Abstract

In this paper, we proposed the micro web-server implementation on Strong ARM processor with embedded Linux. The parallel port connecting parallel I/O is controlled via HTTP protocol and web browser program. HTTP protocol with Linux, the micro web server program and port control program are installed on-board memory using CGI to be accessed by web browser. The processor parallel input port is monitored and parallel output port is controlled from remote hosts via HTTP protocol. The result of the proposed embedded micro-web server can be used in remote automation systems, distributed control via internet using web browser.

Key Words : embedded system, mail client, remote control and monitor, micro web server, ARM processor

1. 서 론

* 주저자 : 단국대학교 전기공학전공 교수
Tel : 02-709-2831, Fax : 02-793-1387
E-mail : kyonghan@dku.edu
접수일자 : 2006년 6월 15일
1차심사 : 2006년 6월 19일
심사완료 : 2006년 6월 26일

원격의 하드웨어를 제어하고 감시하기 위하여 하드웨어와 호스트 시스템 사이에 통신선로가 사용된다. 제어 및 감시 시스템의 중요 요소로 실시간 처리, 신뢰성, 접근성 및 유지보수성 등을 들 수

있으며 제어 대상의 특성에 따라 중요성이 다양할 수 있다. RS232, RS422 등의 직렬 통신 선로 등을 이용한 제어 시스템은 각 제어 대상 마다 독립된 통신선로를 가지므로 통신채널의 데이터 트래픽은 다른 통신채널의 데이터 트래픽에 영향을 주지 않는다. 그러나 제어 대상의 숫자는 호스트 시스템의 가용한 직렬포트의 숫자에 의하여 제한되며 제어 대상이 추가 될 때마다 통신선로를 추가로 해야 하며, 직렬 통신망은 지역적으로 거리와 접근성이 제한되는 단점이 있다. Fieldbus 및 CAN(Control Area Network) 통신 등의 프로토콜은 공장자동화 및 빌딩자동화 등 분야의 원격 제어 시스템을 구축하고 있다[1]. 이들 프로토콜은 Full Duplex 또는 Half Duplex 전송방식으로 공통 통신 선로에 다수의 제어 대상 하드웨어를 연결할 수 있어 기존의 제어 시스템에 제어 하드웨어를 자유롭게 추가 또는 이동할 수 있으며 전송거리도 직렬통신에 비하여 비교적 길다는 개선점이 있다. 그러나 다중접속 방식은 네트워크의 데이터 트래픽이 전체 제어 시스템의 실시간 처리속도에 절대적으로 영향을 주며, 또한 공장 및 빌딩 내부 등의 제한된 지역의 네트워크를 구성함으로써 인터넷 망에 비하여 절대적으로 낮은 접근성을 갖는다. 가장 광범위한 인터넷 망은 언제 어디서든 접근할 수 있어 제어 시스템을 위한 네트워크에 이용되고 있다. 인터넷 역시 다중 접속 방식이므로 네트워크의 데이터 트래픽이 제어 시스템의 실시간 처리에 절대적으로 영향을 끼치며 광범위한 접근성으로 보안에 취약할 수 있는 단점이 있다. 그러나 보안은 각종 보안장치에 의하여 보완될 수 있으며, 이동성을 포함하여 가장 광범위한 접근성의 장점 및 다양한 하드웨어 장치의 지원으로 실시간 처리가 엄격히 요구되는 대상이 아닌 많은 제어 시스템에 채택되고 있으며 점차 확산되는 추세이다[2]. 특히 웹 서버에 의한 제어는 웹 브라우저에 의하여 원격에서 제어 대상 하드웨어를 웹 브라우저 등을 이용한 GUI(Graphic User Interface) 환경에서 작업자가 용이하게 제어하고 감시할 수 있어 시스템이 꾸준히 개발되고 있다. 현재 사용되는 대부분의 웹 서버 제어 시스템은 PC 급의 시스템을 플랫폼을 기반으로 윈도우즈 환

경에서 제어 프로그램이 개발되고 있다. 따라서 PC 등이 설치되는 상당한 크기의 공간이 필요하며 PC 등의 가격도 상당한 수준이다. 본 연구에서는 기존의 웹 서버 시스템에 비하여 최소한의 하드웨어와 소프트웨어에 의하여 웹 서버 및 메일 클라이언트 기능만을 갖는 초소형 웹 서버 시스템을 설계하여 인터넷 접속 기능을 갖지 않는 제어 대상 하드웨어에 저렴한 비용으로 웹 기반에서 인터넷을 통하여 제어할 수 있는 내장형 초소형 웹 서버를 제안한다.

2. 내장형 웹 서버 시스템

웹 서버 시스템은 PC급부터 중 대형 시스템에 이르기까지 다양한 시스템에 구성되며 그 구조는 거의 동일하다. 웹 서버는 웹 브라우저와 HTTP(Hyper Text Protocol) 프로토콜에 의하여 접속되며 웹 브라우저에 HTML(Hyper Text Markup Language) 언어로 화면에 표시되도록 한다. 대부분의 웹 서버는 대용량의 저장장치와, 고성능의 프로세서, 광대역 네트워크 장치로 구성되어 홈페이지 등의 일반 웹 사이트 구축에 사용되고 있다. 내장형 웹 서버 시스템은 요즘의 추세로 네트워크 장비, 네트워크 프린터 등의 하드웨어에 부가 기능으로 원격 고장진단 및 유지보수 등의 목적으로 장치의 컨트롤러에 웹 서버의 기본 기능을 구현한 경우로 일반 웹 서버 시스템에 비해 소형화된 크기와 웹 서버 기능만을 갖고 있으며 원격에서 하드웨어의 상태를 감시하고, 펌웨어 업그레이드, 원격 제어 기능을 수행하고 있다. 이처럼 기존의 하드웨어에 내장형 웹 서버 기능이 있지 않는 장치를 웹 기반을 사용하여 원격 감시 및 제어를 하기 위하여, 별도의 웹 서버 시스템을 연결하여야 하며 용이한 구축을 위하여 보통 PC 급의 시스템을 사용하고 있으나, 부피가 커서 설치 위치에 제약이 있으며, 단순 웹 서버 기능만을 하기에 PC 급의 시스템은 요구조건을 크게 상회하고 있다.

3. 초소형 웹 서버 시스템 제안

3.1 초소형 내장형 웹 서버 시스템 구성

본 연구에서 제안하는 시스템은 초소형 크기의 하드웨어 시스템과 소프트웨어로 하드웨어 장비에 웹 서버와 메일 클라이언트 기능을 수행할 수 있도록 하여 설치 위치에 제약이 거의 없으며, 저렴한 비용으로 PC급 웹 서버의 약점을 보완할 수 있는 응용 분야에 사용함을 목적으로 하였다[3]. 제안되는 시스템은 PC104 Plus 규격의 폼팩터로 90×96[mm]의 크기를 갖는 하드웨어 시스템과 내장형 리눅스 운영 시스템을 이용하여 소형 웹 서버를 구현하고 웹브라우저 및 HTML에 의하여 서버와 사용자를 연결하고 CGI(Common Gateway Interface) 프로그램에 의하여 병렬포트의 입·출력에 연결된 하드웨어를 감시, 제어하도록 한다[4].

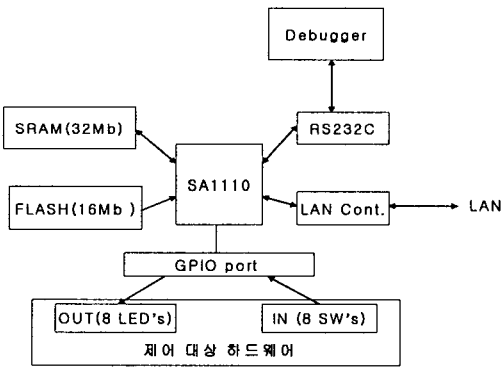


그림 1. 제안한 마이크로 내장형 웹 서버 시스템
Fig. 1. Proposed Micro Embedded Web Server System

이를 위하여 CPU 및 주변장치를 모두 포함하고 있는 내장형 프로세서를 사용하여 그림 1과 같이 시스템을 구성하였다. GPIO 포트는 프로세서에 내장된 병렬포트이며 제어 대상 하드웨어와 입, 출력 포트에 의하여 연결되며 LED와 SW들을 연결하여 제어 신호의 입출력을 확인할 수 있도록 구성하였다[5]. 내장형 프로세서 SA1110은 PC에 비하여 성능은 낮지만 프로세서와 각종 주변장치가 One Chip화되어 있어 소형화, 저 전력 소모 등의 장점을 가지고

있어서 본 연구에서 구성한 시스템의 요구조건에 적합하다. SA1110은 32비트의 RISC(Reduced Instruction Set Computer) 프로세서이며 400mW의 낮은 소비전력과 매우 작은 패키지로 내장형 시스템과 같은 소형 시스템 구현에 적합하며 다양한 주변장치가 내장되어 있다[6]. 플래시 메모리에는 운영체제와 웹 서버, 메일 클라이언트 응용 프로그램이 저장된다.

3.2 내장형 웹 서버 제어 프로그램

내장형 웹 서버 프로그램은 정보를 교환할 수 있는 HTTP와 CGI 지원 가능한 웹 서버 그리고 외부 기기를 제어하기 위한 디바이스 드라이버와 디바이스 드라이버를 제어하여 웹 서버에게 정보를 전달하는 CGI 프로그램 등으로 구성된다. 운영 체제로 커널 버전 2.4.5의 리눅스를 사용하였으며 본 논문에서 사용하는 HTTP 프로토콜 이외 TCP/IP(Transmission control protocol/ Internet protocol), UDP(User Datagram Protocol), SMTP(Simple Mail Transfer Protocol) 등의 다양한 접속 프로토콜을 사용할 수 있어 용이한 확장성과 다양한 시스템과의 호환성을 갖는 장점을 가질 수 있다[7]. 하드웨어 장치는 GPIO(General Purpose Input Output) 병렬포트를 통하여 제어되며 응용프로그램에서 GPIO 포트를 파일로 인식하기 위하여, 디바이스 드라이버 C 프로그램에 의하여 작성하였다[8]. 리눅스 등의 운영 시스템에서는 작성된 디바이스 드라이버를 커널에 포함하여 커널을 다시 설치할 수도 있고, 디바이스 드라이버를 모듈로 만들어 커널에 유동적으로 추가하거나, 삭제할 수 있다[9]. 본 연구는 후자를 선택하였으며, 이는 하드웨어가 추가 또는 삭제될 경우 운영체제의 커널을 다시 컴파일 하지 않고, 모듈을 추가 또는 삭제함으로써 운영체제의 안전성과 디바이스 드라이버의 유연성 있는 운영을 할 수 있다는 장점이 있다. 내장형 웹 서버의 기능을 제어하기 위하여 원격에서 웹브라우저 등에 의하여 서버 내부의 CGI 프로그램을 실행시키면 디바이스 드라이버를 통하여 GPIO 등의 출력 포트에 연결된 장치를 제어하게 된다. 장치의 상태 값은 입력포트로 읽어 들이

며 HTTP 프로토콜을 통하여 원격의 웹브라우저에게 HTML 형식으로 전달되어 장치의 상태를 감시할 수 있다[10].

3.3 내장형 메일 클라이언트 프로그램

본 연구에서 내장형 웹 서버에 메일 프로그램을 백그라운드 모드로 실행하여 병렬포트의 입력을 계속 감시하고 주어진 조건이 만족하면 그 값을 정해진 메일 서버로 전송하도록 하여 웹 서버와 함께, 메일로도 포트를 감시할 수 있는 기능을 갖도록 하였다. 이때 웹 서버 플랫폼은 메일을 받거나 저장할 필요가 없어 복잡한 메일 서버기능 대신 메일을 전송하는 기능만을 갖는 간단한 메일 클라이언트의 기능만을 갖게 되어 내장형 프로세서 시스템으로 구현이 용이하다는 장점이 있다. 메일 프로그램은 디바이스 드라이버를 통하여 병렬포트에 연결된 외부 기기의 상태를 감시하고 일정한 조건을 만족하면 SMTP 프로토콜을 통하여 지정된 메일 주소로 POP3(Post Office Protocol ver 3) 메일 서버 또는 웹 메일 서버로 메일을 전송한다. 사용자는 POP3 메일 프로그램이나 범용 웹브라우저를 통하여 메일을 확인할 수 있게 된다. 병렬포트에 연결된 장치의 정보를 메일로 전송 받음으로써 관리자가 웹 서버로 계속 감시를 하지 않아도 상태를 메일로 받아볼 수 있으며 장치의 입력 상태 값의 이전 기록도 확인할 수 있게 된다. 현재의 상태만 감시하고 제어하는 웹 서버기능과 메일 클라이언트 기능을 복합하여 사용하면 보다 향상된 원격 제어 및 감시 시스템을 구현할 수 있다.

4. 실험 방법 및 결과

4.1 CGI 제어 프로그램

CGI는 서버와 외부 스크립트 또는 프로그램과 상호작용을 할 때 이루어지는 입·출력을 정의한 표준이므로, 이러한 표준에 맞추어 만들어진 것이 CGI 프로그램이다. CGI의 기능은 HTML의 사용자에게 정보를 받고 보내주는 응용 프로그램과 웹 서버간의 연결 역할을 하며 응용 프로그램에서의 결과 값을

HTML 형태로 되돌려 준다[11]. 이처럼 GPIO를 제어하고 감시하게 되며 GPIO를 제어하는 CGI 프로그램을 C 프로그램으로 작성하였다[12].

4.2 HTML 프로그램

HTML 프로그램은 웹브라우저와 웹 서버간의 HTTP 프로토콜에 의하여 전송되는 제어 명령 포맷으로 CGI 프로그램을 실행시키고 CGI의 수행 결과를 받아 웹브라우저를 통하여 화면에 표시할 수 있도록 하는 기능을 갖는다. 본 논문에서 CGI를 실행하기 위해 사용한 HTML 문장 구조는 일반적인 규약을 따르고 있으며 다음과 같다.

```
<form name="form1" method="get"
      action="/cgi-bin/on_off.cgi">
```

여기서, 'action'은 HTML 프로그램이 실행할 CGI 프로그램 파일명을 말하며 'method'는 제어 명령 포맷의 전송 방식을 정하는 기능을 가지고 있다.

4.3 메일 클라이언트 구성

메일 클라이언트는 메일을 전송하는 SMTP 프로토콜과 디바이스 드라이버를 통하여 병렬포트에 연결된 외부 장치 입력 신호를 입력하고 그 값이 일정한 조건이 되면 메일을 전송하는 메일 프로그램을 수행하는 기능을 갖는다.

4.4 원격 제어 실험 시스템

웹 서버와 메일 클라이언트 기능을 가진 초소형 내장형 플랫폼에 의한 원격 제어 감시 시스템을 구성하고 CGI 프로그램, 디바이스 드라이버를 작성하여 내장형 플랫폼에 실장하고 그림 2와 같이 구성하여 실험으로 확인하였다.

내장형 플랫폼의 병렬포트에는 입출력 제어 신호를 확인하기 위한 LED 표시장치와 DIP 스위치를 연결하고 각 플랫폼에 고유한 IP를 부여하고 인터넷에 연결하였다[13]. 실험 시스템은 교내 인터넷 망에 4

웹 기반 하드웨어 원격감시 및 제어를 위한 초소형 내장형 웹 서버 시스템의 구현

개의 구현된 웹 서버를 연결하고 2개의 PC를 호스트로 구성하여 그 기능을 확인하였다. 호스트 PC는 윈도우즈 2000과 와우 리눅스 Paran 7.2를 사용하였으며 웹 서버 시스템에 탑재되는 리눅스 운영체제, 디바이스 드라이버, 메일 클라이언트, CGI 프로그램, HTML 대응 프로그램 등의 응용 프로그램은 PC에서 C 프로그램을 작성하고 이를 ARM 프로세서용 크로스컴파일러에 의하여 컴파일 하여 실행파일을 웹 서버 시스템의 플래시 메모리에 저장하였다[14]. 인터넷에 접속된 일반 PC에서 범용 웹브라우저와 메일을 통해 내장형 웹 서버의 HTML 주소로 접속하여 HTML 화면을 통하여 웹 서버에 연결된 장치 출력신호를 원격 제어하며 또한 장치의 입력신호를 웹브라우저의 HTML 화면과 수신된 메일을 통하여 감시할 수 있음을 확인하였다.

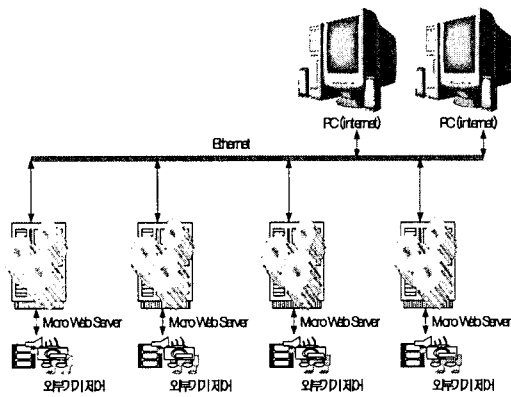


그림 2. 원격 제어 감시 시스템 구성
Fig. 2. Remote Control, Monitoring System Structure

4.5 실험 결과

실험 결과로 리눅스 운영 시스템과 ARM 프로세서를 이용하여 내장형 웹 서버 시스템을 구현하고 인터넷 망에 연결된 PC의 웹브라우저를 통하여 병렬포트를 감시하고 제어할 수 있는 시스템을 구현하여 그 기능을 확인하였다.

병렬포트의 출력 값을 웹 서버로 제어하고 병렬포트의 입력 값을 웹 서버와 메일을 이용하여 감시하는 기능을 그림 3과 같이 보여주며 웹브라우저에서

버튼들을 누름으로써 그에 해당되는 CGI 프로그램이 실행되고 페이지 상부의 프레임에서 병렬포트의 입·출력을 나타내는 레지스터 값을 읽어 핀들의 상태를 보여준다.



그림 3. CGI 실행 HTML 페이지
Fig. 3. HTML Execution Page

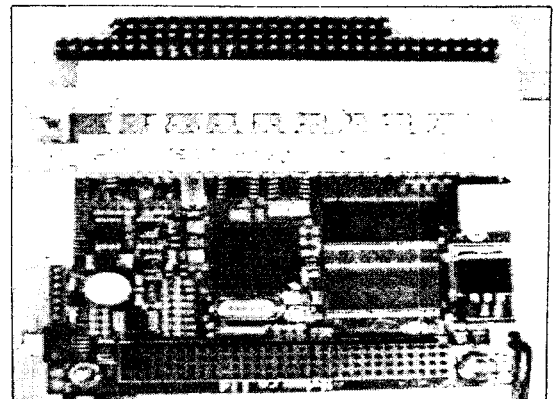


그림 4. CGI 프로그램이 실행된 하드웨어 플랫폼
Fig. 4. Hardware Platform Executing CGI Program

그림 4는 그림 3의 상태일 때 타깃 보드의 상태를 보여주고 있으며 페이지의 상태와 동일함을 알 수 있다. 그림 5에서 병렬포트의 입력 값을 저장하는 레지스터를 읽어 그 입력 값을 감시하는 CGI 프로그램을 실행시키는 위쪽의 프레임과 핀의 번호를 입력받아 CGI 프로그램으로 전달하여 제어 출력을 발생하는 포트제어 부분의 아래쪽 프레임으로 나누었다. 위쪽의 프레임은 계속해서 입력 포트의 값을 다시

읽으며 이를 위해 화면을 자동으로 재구성 하고 CGI 프로그램도 다시 실행하도록 하였다. 화면을 재구성 하는 문장구조는 다음과 같다.

```
<meta http-equiv="refresh" content="0;
url=./cgi-bin/re_read.cgi">
```

여기서 'url'은 재구성 할 페이지의 주소를 나타내며 'content'는 지연시간을 나타낸다.

실험에서는 웹브라우저에서 해당 버튼을 누르면 그때 병렬포트의 출력제어 값을 포트에 내보내고 다시 출력포트의 상태를 읽어서 웹 페이지에 표시를 하도록 하였다. 실험 시스템은 교내 인터넷 망에 연결하여 실험을 실시하였으며, 교내 인터넷 망의 데이터 트래픽을 감안 할 때, 약 0.5초간의 지연시간이 있었다. 이는 데이터 트래픽과 긴밀한 연관이 있는 것으로 데이터 트래픽이 크면 지연시간이 늘어나는 것이며 인터넷 망을 사용할 경우 피할 수 없는 부분이다. 또 다른 실험으로 허브를 사용하여 내장형 웹서버와 PC 호스트를 연결하였는데, 이 경우 허브와 외부 연결을 차단하여 교내 인터넷망의 데이터 트래픽에 의한 영향을 차단하였다. 이 경우 웹 서버와 호스트 PC 들 사이의 데이터 트래픽만 존재하므로 거의 실시간으로 포트를 출력 제어하고 감시할 수 있었다.

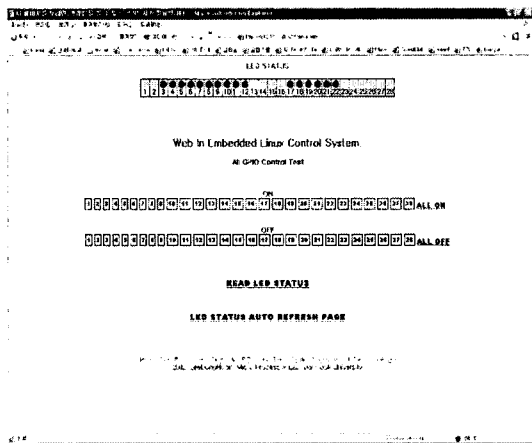


그림 5. GPIO 포트 제어와 감시 HTML 페이지
Fig. 5. HTML Page for Control and Monitoring of GPIO Ports

그림 6과 그림 7에서 GPIO의 입력포트([bit] 3~[bit] 12의 8개 핀)의 입력이 모두 1일 경우에 웹 브라우저 페이지와 수신된 메일 메시지가 일치함을 보인다. 여기서 병렬포트의 입·출력을 나타내는 레지스터가 정해진 상태가 되면 그 입력포트 값에 맞는 메시지를 텍스트 파일로 작성하여 정해진 메일 주소로 보낸다. 또한 메시지를 보낸 상태에서 다음 입력포트의 값이 같으면 프로그램은 다시 메일을 보내지 않고 입력포트의 값이 변화하면 메일을 전송하는 기능을 확인하였다.

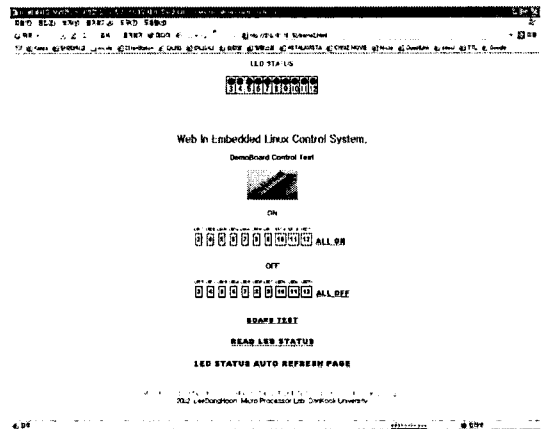


그림 6. GPIO입력 8(bit)(3-10)가 모두 1인 경우 웹 브라우저L 화면
Fig. 6. Web Browser Page showing GPIO input 8(bits)(3-10) are all 1's

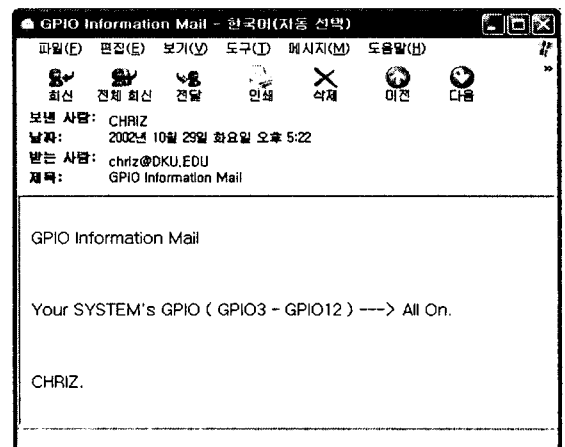


그림 7. GPIO 입력포트 값에 따른 메일 전송
Fig. 7. Mail showing GPIO input values

5. 결 론

본 연구는 광범위하게 구축되어 있는 인터넷 망을 이용하고, 일반적인 웹 브라우저 및 메일 시스템을 이용하여 원격의 장치를 제어하고 감시하기 위하여 PCI04크기의 소형 보드에 최소한의 기능을 구현하였다. 이를 위하여 내장형 리눅스 운영 시스템을 StrongARM 프로세서 보드에 실장 하여 내장형 웹 서버를 구현하고 웹 서버를 기반으로 병렬포트의 입·출력을 위한 디바이스 드라이버를 제작하고 CGI 프로그래밍을 작성하여 병렬포트의 입·출력을 웹 브라우저에서 제어고 상태를 감시 하도록 하였다. 또한 병렬포트의 입력상태를 메일로 전송하는 기능을 갖도록 메일 클라이언트를 설계하였다. 인터넷을 통하여 어디서든지 웹 브라우저를 통하여 웹 서버에 접속할 수 있으며 다수의 웹 서버에 접속할 수 있으므로 본 연구의 결과를 이용하여 각종 산업용, 가정용 등의 시설 및 자동화기기 등을 현장뿐 아니라 장소와 시간에 구애 받지 않고 제어, 감시할 수 있다. 특히 기존의 웹 기반 제어 기능이 없는 하드웨어에 본 연구에서 제안한 소형 웹 서버/메일 클라이언트 시스템을 연결하면 웹 기반에서 원격 제어 및 감시가 가능해지는 장치 및 기기로 업그레이드할 수 있다. 웹 기반의 하드웨어 제어가 가능한 내장형 웹 서버 시스템은 POS(Point Of Sales) 시스템, 홈오토메이션, 공장 자동화 등에 응용되어 지고 있으며 이 시스템을 통해 원격 디스플레이, 데이터 검출, 건물자동화나 사무자동화 등과 다양한 시스템에 응용될 수 있을 것이라고 기대된다.

References

- [1] Green, Data Communication, Longman Scientific & Technical, 1995.
- [2] Brian J. Thomas, The Internet for Scientist and Engineers, SPIE Press, 1995.
- [3] Jeremy Bentham, Web Server for Embedded Systems, CMP books, 2002.
- [4] Jean J. Labrosse, Embedded Systems Building Blocks, CMP books, 2000.
- [5] Dhananjay V.Cadre, Programming Parallel Port, R&D Books, 1998.
- [6] Intel StrongARM SA-1110 Microprocessor, Developer's Manual, Intel, 2000.

- [7] John Lombardo, Embedded Linux, New Rider, 2002.
- [8] Alessandro Rubini, Linux Device Driver, O'Reilly, 2000.
- [9] Richard Stones and Neil Matthew, Beginning Linux Programming, Wrox Press, pp. 955-1156, 2000.
- [10] Ed Tittel, Mark Gaither, Sebastian Hassinger and Mike Erwin, CQ Bible, IDG Books Press, 1997.
- [11] Stephen Asbury, Jason Mathews, Selena Sol and Kevin Greer, CQ How-To : The Definitive CQ Scripting Problem-Solver, Waite Group Press, pp. 445-482, 1996.
- [12] Michael Barr, Programming Embedded Systems in C and C++, O'Reilly, 1999.
- [13] 박성원, 정기철, ARM-9을 이용한 임베디드 리눅스 시스템, 복두출판사, 2005.
- [14] Craig Hollabaugh, Embedded Linux: hardware, Software, and Installing, Pearson Education, 2002.

본 연구는 2004학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 수행되었음.

◇ 저자소개 ◇

한경호 (韓敬浩)

1959년 6월 25일생. 1982년 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업. 1984년 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사), 1992년 미국 Texas A&M University, College Station 졸업(PhD). 1984~1985년: 삼성휴렛팩커드 연구원. 1985~1987년 한국통신 전임연구원. 1989~1992년 Texas A&M University, Unix System Administrator & Network Analyst. 1992~1993년 한국전자통신연구원 이동통신연구단 CDMA 개발 선임연구원. 1993~1995년 단국대학교 전기공학과 전임강사. 1995~1999년 단국대학교 전기공학전공 조교수. 1999~2005년 단국대학교 전기전자컴퓨터공학 전공 부교수. 2005년~현재 단국대학교 전기공학전공 교수. 관심분야: 마이크로프로세서 응용시스템, 임베디드 시스템, 지능형 로봇시스템, 지능형교통시스템(ITS), 위치기반시스템(LBS).