

리눅스제어를 이용한 가정용 전력제어시스템의 개발

우천희
명지전문대학 전기과

The development of Power Control System using Linux Controller

Chun-Hee Woo
Dept. of Electrical Engineering, Myongji College

Abstract - 본 연구에서는 인터넷을 이용하여 원격으로 사용전력량을 검침하며, 여름철 칩두 부하시 부족한 전력량을 효율적으로 운영하는 시스템을 개발한다. 특히 세대수가 밀집되어 최대수요전력 제어 효과가 높은 아파트를 우선적으로 제어 대상 지역으로 선정하며, 이에 맞는 구조로 저렴하고 동작이 확실한 시스템을 구성한다. 대개의 아파트는 자체 망이 구성되어 있으므로 인터넷 통신망에 접속하기 쉬우며 또한 신규 설치 시에도 저렴하게 시공할 수 있는 환경을 제공한다. 또한 본 연구에서 POST를 구성하는 산업용 임베디드 리눅스는 기존의 제어기를 구성하던 임베디드 시스템에 실시간 운영체제인 리눅스를 실장시켜 사용한다.

을 디지털 신호로 바꾸어 주는 A/D 컨버터 역시 정확도를 결정짓는 중요 요소가 된다.

2.1 전력제어시스템의 구성

전기 공급자의 서버와 인터넷을 통하여 원격검침을 구현하는 전력제어시스템은 아파트 단지마다 1개의 전력관리시스템(PCC), 필요한 수의 포스트(POST)와 세대마다 설치되는 전력제어기(FDMC)로 구성된다.

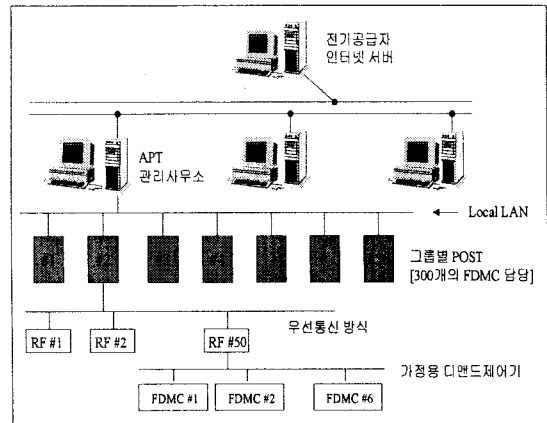


그림1. WEB 기반 가정용 전력제어시스템의 구성도

각 가정의 전력량계 함 내부에 전력량을 계측하기 위해 전력제어기(FDMC)를 설치한다. 설치 환경에 따라 6개에서 9개 정도의 FDMC를 1개의 블록으로 구성하고, 이 블록으로부터의 계량정보를 무선 통신용 고속 RF 모듈을 경유하여 인터넷 모듈이 내장된 포스트에 전달된다. 이 포스트들은 지역별로 구성된 Local LAN에 연결되어 있으며, 아파트 관리사무소 또는 임의로 설치한 집중국의 전력관리시스템에 RF 모듈들로부터 집계한 데이터를 자동적으로 저장시키고, 전용선을 활용한 인터넷 통신망을 통하여 시간과 장소에 구애받지 않고 전기공급자의 서버에 직접 접속한다.

2.2 포스트(POST)의 설계 및 제작

실시간 운영체제인 리눅스를 탑재한 포스트는 네트워크의 게이트웨이 역할을 하며, 32비트 원칩 마이크로 컨트롤러로 만들어졌다. 가구별 제어기(FDMC)로부터 전력량을 수집하여 네트워크를 통해 전력관리시스템에 데이터를 실시간으로 전송한다.

본 연구에서는 마이크로 컨트롤러에 실시간 운영체제인 리눅스를 이식하고, 리눅스의 다양한 기능을 운용 가능하도록 개발한다. 리눅스는 OS의 소스가 공개되어 있으므로 설계한 하드웨어에 적합하도록 캠포트하게 운영체제를 재구성하며, 초소형 컴퓨터에 최소 용량으로 이식시킬 수 있다. 이 결과 시스템의 안정성이 확보되며, 기존 리눅스가 보유한 모든 네트워크 리소스를 그대로

1. 서 론

여름철 집중되는 냉방 전력을 효율적으로 관리하여 발전소 건설비등 국가 에너지 비용 절감에 기여하기 위해, 최근 전기공급자인 한국전력은 산업용 전력에 대해서 부하조정용 전력요금 할인제도인 휴가, 보수기간 조정 요금제도와 자율 절전 요금제도를 한시적으로 시행하고 있다. 그러나 약 1300만 가구에서 사용하고 있는 에너지 소비량이 전체 에너지의 25% 정도로 가정용 전기의 규모가 엄청나게 크지만, 시간대별 전력량 집계가지 않는 이유로 아직 수요전력제어가 이루어지지 않고 있다. 그러므로 본 연구에서 제작되어진 가정용 전력제어기를 설치하고 인터넷을 활용한 자동계량 정보통신을 이용하면 검침으로부터 요금고지와 징수, 수요전력의 제어에 이르기까지 전 과정을 자동화할 수 있다. 특히 칩두 부하시 사용 전력량을 시간대 별로 집계하여 전력요금을 차등 부가하면 자발적인 부하의 분산을 유도할 수 있고, 또한 필요한 경우 전기 사용자와 공급자간의 별도 계약에 따라 가정 또는 상업용 에어컨을 제어하고자 한다. 이에 따라 피크 전력의 임의조절 및 소비전력의 절약으로 팔목할만한 예비전력 확보로 국가 자원의 낭비를 줄일 수 있으며, 에너지 효율화 및 부하의 분산 유도 등을 극대화할 수 있다.

2. 본 론

Web 기반 가정용 전력제어시스템은 Web 서버를 내장한 마이크로컨트롤러를 이용하여 검침된 전력량을 수집하는 제어부를 구성하고, 수집된 데이터는 인터넷 기술을 이용하여 집중국 또는 아파트 관리사무실의 전력관리용 컴퓨터에 저장된다. 일정한 간격으로 저장된 데이터는 운전자가 전력량의 사용 경향이나 대응량 부하인 에어컨을 원격 제어하기 위해서 모니터링용 그래픽 화면을 통하여 감시 및 조작이 수행되도록 시스템을 구현한 것이다. 특히 시간대별로 전력량을 계측하고 이 값을 전기적인 신호로 바꾸어 주는 변류 및 변압센서는 계량기의 정밀도를 결정하며, 이 센서의 아날로그 출력

로 사용할 수 있으므로 이를 기반으로 한 다양한 웹기반 서비스가 가능하다.

POST는 Embedded Linux 환경 하에서 실행되며, PCC에 연결 가능한 POST는 개수는 제한이 없다. 그리고 하나의 POST에는 최대 255개까지의 FDMC를 연결하여 사용한다.

포스트는 PCC로부터 TCP Socket connection을 기다린다. PCC로부터 명령을 전달받고, 해당 명령의 기능을 수행한다. 가령, PING 명령의 응답으로 현재 각 FDMC의 상태를 report하거나 MSG, 또는 CTL 명령을 전달받아 해당 FDMC에게 각각 메시지 전송, 또는 제어신호 전달의 기능을 수행한다. 또한 모든 FDMC와 RF 직렬 통신을 통해 일정 주기별로 정보를 획득한다. 이 정보는 현재 사용 전력량, 사용자 키 입력 상태를 포함한다.

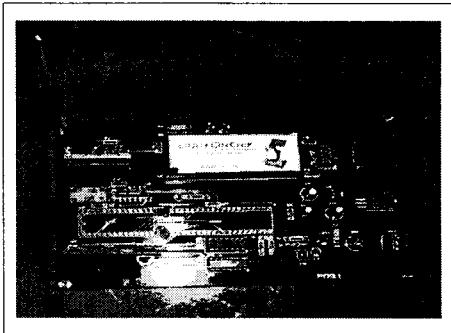


그림2. 전력제어시스템의 포스트

2.2.1 리눅스 칩의 사양

포스트에서 사용하는 LOC 칩은 엠베디드 제품에 리눅스 적용을 위한 최적의 방법이며, 10 Base-T 이더넷을 통하여 LAN에 직접 접속한다. 또한 32비트 마이크로 컨트롤러를 사용하므로 하나의 칩에 대부분 기능이 내장되어 있어 개발 기간 단축되며, 이 때문에 초소형, 저가격 하드웨어의 제작이 가능하다.

- Web server 내장
- Real time kernel 구현
- TCP/IP protocol stack
- OS가 Flash ROM에 구현된 file system
- NFS를 통한 개발 program의 저장 및 실행 가능
- Max 150mA 저소비 전력
- LAN 및 LCD controller 내장
- PPP 접속 기능

2.2.2 포스트의 통신 프로토콜

포스트는 PCC와 TCP Socket 통신을 한다. PCC는 일정 주기별로 Ping+시간정보를 전송하며, 하나의 포스트에 256RF와 각 RF에는 6개의 FDMC가 연결되므로 1,530개의 FDMC가 연결된다. PCC와 POST가 서로 전달하는 명령과 데이터는 다음 형태와 같다.

1] PING 0x10

PCC가 일정 주기마다 각 POST에게 전달하는 명령이며, 현재 시간과 time-zone을 각 POST에게 전달한다. packet 구조는 다음과 같다.

```
[0][1][2][3][4][5]
0, 1 : packet size
2 : PING (0x10)
3, 4 : 현재 시간
5 : time-zone 설정 (0, 1, 2: 주간, 저녁, 심야)
```

2] PONG 0x11

POST가 PING 명령을 받으면 PCC에게 응답하는 명령으로, 자신이 거느리고 있는 각 FDMC의 정보를 포함해서 PCC에게 전달한다. PONG의 packet 구조는 다음과 같다.

```
[0][1][2][...][6][각 FDMC 전력량][각 FDMC의 event]
0, 1 : packet size
2 : PONG (0x11)
3, 4 : FDMC 개수
5, 6 : EVENT 개수
7.. : FDMC 개수 * (주간:4bytes, 저녁:4bytes, 심야:4bytes, 합계:4bytes)
7 + FDMC개수 * 16.. : EVENT 개수 * event 구조체
```

3] 제어 및 메시지

PCC는 사용자의 입력, 또는 외부의 명령에 의해 임의의 FDMC에게 메시지, 또는 제어신호를 전달할 수 있다. 이 신호는 일정주기로 수행되는 PING 명령과 관계 없이 독자적으로 전달된다.

```
MSG 0x12 PCC -> POST
CTL 0x13 PCC -> POST
QST 0x14 PCC -> POST
```

packet 구조는 다음과 같다.

```
[0][1][2][3][4][5][6][...]
0, 1 : packet size
2 : MSG (0x12), CTL(0x13), 또는 QST(0x14)
3, 4 : FDMC ID
5... : MESSAGE 구조체 또는 CONTROL 명령
```

2.3 디지털 필터와 전력제어기(FDMC)

말단 부하 제어기에는 시간대별로 전력 사용량을 예측하는 FDMC, 이로부터 제어신호를 받아 에어콘을 적외선 방식으로 제어하는 에어컨용 제어 모듈과 인터넷에 의한 전력요금 공지 및 기타 부가적인 기능을 제공하는 LCD 모듈로 구성된다.

사용 전력량을 정밀하게 예측하며, 시간대 별로 집계하여 전력요금을 차등 부가함으로써 부하의 분산을 유도할 수 있으며, 여름철 첨두 부하시 전기 사용자와 공급자간의 별도 계약에 따라 가정 및 상업용 에어컨을 원격제어한다. 또한 가정 내에 LCD 디스플레이 장치를 설치하여, 이를 통한 각종 공지 안내가 가능하다.

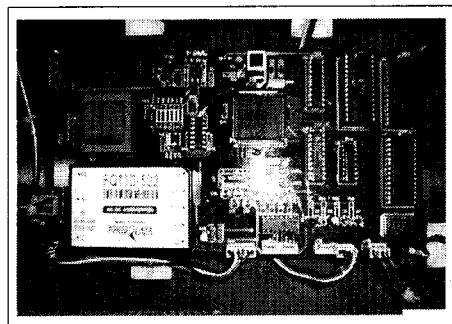


그림3. 전력제어시스템의 FDMC

그리고 각각의 FDMC는 POST에서 Broadcasting되는 직렬 데이터를 수신해서 자신이 호출되었나 감지한다. 이때 자신의 ID인 경우, POST로부터 명령을 수신하고, 그에 대한 응답으로 자신의 현재 상태(전력량)를 전달한다.

2.3.1 DFT에 의한 전력량 산출

필터링은 신호 프로세싱 기법으로서, 연속적인 아날로그 입력이나 디지털 회로에 의한 이산시간 디지털 입력에 대하여 요구되는 신호를 얻어내기 위해 불필요한 잡음이나 신호영역을 제거하는데 널리 사용하고 있다.

사용 전력량을 얻기 위하여 부하에 흐르는 전류와 전압을 센서를 통하여 샘플링한다. 샘플링되어지는 아날로그량은 A/D 변환기에 의하여 디지털 량으로 변환되어, 메모리에 저장된 후 필터링되어진다.

연속적인 입력신호 $X(n)$ 의 1주기를 N 회 샘플링하여 실수부와 허수부 요소로 분리하여 나타낼 수 있다. 이때 필터의 구성은 피드백이 없는 비재환 필터 구조를 따르며, $y_r(k)$ 및 $y_i(k)$ 는 k 번째 샘플링 순간에서의 출력값이다.

$$y_r(k) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X(k-n) \cos(k-n) \quad (1)$$

$$y_i(k) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X(k-n) \sin(k-n) \quad (2)$$

정현파 입력신호로부터 실시간으로 실수 및 허수분 전류 또는 전압값을 얻기 위하여 2개의 데이터윈도우를 선정하였다. 데이터윈도우 1의 샘플집합을 $\{X_k, k=0, 1, 2, \dots, N-1\}$ 이라 하면 샘플집합으로부터 페이지 표현식을 얻을 수 있다. 샘플링 각 $2\pi/N$ (radian)에 일치하는 시간이 지난 후 새로운 샘플링 값이 얻어 지는데, 이 때 부터가 데이터윈도우 2가 사용이 되며 새로운 샘플집합 X_k 가 생성되어진다.

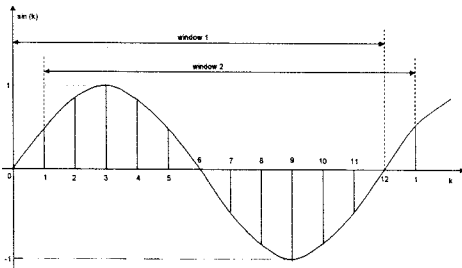


그림4. 정현파의 샘플링 및 윈도우

허수부 $y_i(k)$ 를 얻기 위한 정현파의 윈도우는 그림4와 같으며, 허수부를 표현하는 식(2)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} y_i(k) &= \frac{2}{12} \sum_{n=0}^{11} X(k-n) \sin(k-n) \\ &= \frac{1}{6} \left\{ X(k-3) - X(k-9) + \frac{1}{2} [X(k-1) \right. \\ &\quad \left. + X(k-5) - X(k-7) - X(k-11)] \right. \\ &\quad \left. + \frac{\sqrt{3}}{2} [X(k-2) + X(k-4) \right. \\ &\quad \left. - X(k-8) - X(k-10)] \right\} \quad (3) \end{aligned}$$

마찬가지로 실수부 $y_r(k)$ 를 표현하는 식(1)은 $N=12$ 일 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} y_r(k) &= \frac{2}{12} \sum_{n=0}^{11} X(k-n) \cos(k-n) \\ &= \frac{1}{6} \left\{ X(k) - X(k-6) + \frac{\sqrt{3}}{2} [X(k-1) \right. \\ &\quad \left. + X(k-11) - X(k-5) - X(k-7)] \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \frac{1}{2} [X(k-2) + X(k-10) - X(k-4) \\ &- X(k-8)] \quad (4) \end{aligned}$$

푸리에 변환에 의해 구해진 실수 및 허수분의 주파수 응답특성은 기본파의 정수배 조파가 완전히 제거되는 특성이 있으며, 전력을 얻기 위해 상전압 및 상전류의 실수·허수분 성분을 사용한다. 적용되는 계통 또는 부하단의 상전류에 대한 실수 및 허수성분을 $I \cos \phi$, $I \sin \phi$ 라 하고, 상전압의 실수 및 허수성분을 $V \cos \theta$, $V \sin \theta$ 라 하면 전력값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{유효전력} &= VI \cos(\theta - \phi) \\ &= V \cos \theta I \cos \phi + V \sin \theta I \sin \phi \\ &= V_r I_r + V_i I_i \quad (5) \end{aligned}$$

2.3.2 RF 모듈 제작

반이중 소형 UHF 무선 모듈에는 BiM-UHF 모듈과 TX2, RX2 RF 송수신 모듈이 있다. 본 연구에서 사용하는 TX2 및 RX2 모듈은 40Kbps까지 통신이 가능하며, TX2는 RF data 송신 모듈이고, RX2는 수신용 모듈이다. 주파수는 418.00 MHz와 유럽 버전인 433.92MHz를 사용하며, 열린 공간에서는 300m까지 통신이 가능하다.

모듈에 인가되는 전원은 5V용과 3V전원을 사용하며, 안테나는 RF 보드에 연결하여 사용하며, 주로 whip 안테나를 사용하며 길이는 약 17cm 정도이면 충분하다.

송신기(TX2) 사양

- 2 단계 SAW, FM 방식(최대 40Kbps)
- Operating from 2.2 to 6V
- 10mW on 433.92MHz(Europe),
- 1mW on 418MHz(UK)
- High efficiency, > 15%, DC --> RF
- 2nd harmonic, < -60dBc

수신기(RX2) 사양

- Double conversion FM superhet
- SAW front 등 filter, image rejection 50dB
- Supply 3.0 to 6.0 Volts at 13mA
- 40kbps, -100 dBm sensitivity at 1 ppm BER
- Local oscillator leakage, < -60 dBm

2.3.3 FDMC의 직렬패킷 통신

포트는 PCC와 연결 상태에 관계없이, FDMC와 연결을 시도하고 상태를 체크한다.

POST -> FDMC1 일정 주기별로 통신

POST <- FDMC1 연결의 응답으로 자신의 상태 전달

이때 포트와 FDMC는 패킷을 구성하여 시리얼 통신을 한다. 패킷이란 하나의 데이터를 보낼 때 앞뒤로 무엇인가를 붙여 포장하는 것을 말한다.

프리앰블	ffh	ffh	Start Byte	01h	Data Byte	CRC
------	-----	-----	------------	-----	-----------	-----

여기서 프리앰블은 AAh(또는 55H)를 딜레이 없이 계속 해서 3ms 이상 포트에 값을 출력함으로써 만들 수 있다. 그리고 ffh 2바이트와 01h 1바이트는 옵션사항이다. 그리고 데이터 바이트에서는 계속되는 FFh나 00h는 곤란하다. 20kbps 이상으로 데이터를 전송하기 위해서는 마크:스페이스 비율이 50:50을 유지할 수 있는 특별한 코딩 방법이 필요하다.

1] POST에서 FDMC로 전달되는 구조체

// POST -> FDMC의 크기는 고정 크기이다. 실제로는 이 structure 다음에 char. string이 따라간다.

```
typedef struct
{
    sint    iLen;
    uchar   cCtrl;
    uchar   cMsg;
    uchar   cReserved1;
    uchar   cReserved2;
    MESSAGE mMsg;
}POST2FDMC; // size : 206 bytes
```

2] FDMC에서 POST로 전달되는 구조체
// Fdmc -> Post로 오는 Packet중, 고정 크기 부분이
다. 이 다음에 sint, char이 cAnsNo개 만큼 번갈아서 온
다.

```
typedef struct
{
    sint    iLen;
    long    P[4];
    char    cCtrlState;
    char    cAnsFlag; // 응답이 있었다면 1
    char    cReserved;
    char    cAnsNo;
    sint    iQ_ID;
}FDMC2POST; // size : 24 bytes
```

3. 결 론

본 연구에서는 리눅스를 내장한 임베디드 시스템과 인터넷 기술을 주축으로 하여 가정용 수요전력을 제어하는 장치를 개발함으로써, 인터넷이 연결되는 외부 공간에서 제어기가 설치된 수용가의 전기 부하를 손쉽고, 안정하게 제어할 수 있는 환경을 제공한다.

이처럼 가정용 전력제어기를 설치하여 운용하면 아파트 단지의 전력요금 관리업무를 자동화할 수 있다. 또한 에어컨과 같은 고 전력소비용 부하를 전기공급자가 강제로 제어할 수 있다면, 수요전력을 임의로 조절 가능하므로 여름철 일시적으로 집중되는 냉방 부하를 효과적으로 분산시킬 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. H. Abdul-Rahman, "A Fuzzy-based optimal reactive power control," IEEE Trans. on power systems, Vol. 8, No 2, pp. 662 - 668, May 1993.
- [2] A. G. Phadke, M. Ibrahim, "Fundamental basis for distance relaying with symmetrical components," IEEE Trans. on power apparatus and systems, Vol. PAS 96, No 2, pp. 635 - 643, March/April 1977.
- [3] PAUL M. Embree, Bruce Kimbie, "C Language Algorithms for Digital Signal Processing," Prentice-Hall International INC., 1991.
- [4] Jean J. Labrosse, "The Real-time kernel," R&D Publications, Lawrence, Kansas.

본 논문은 2001년도 중소기업 기술혁신 개발사업에 의해 이루어진 연구결과입니다.