

전력선 통신을 이용한 plant 감시 제어 시스템

서 민상 * , 성 석경, 안 병규

삼성중공업 중앙연구소
메카트로 개발센터

Spread Spectrum Method based Power Line Communication for Plant Monitoring and Control System

Min-Sang Seo* , Seuk-Kyung Sung, Byung-Gyu Ann

Samsung Heavy Industries co, ltd. Central Institute
Mechatronics Development Center

Abstract

Localized communication networks for office automation, security monitoring, environmental management of buildings, computer communications, and other applications enjoy every increasing demand. This paper proposes a direct sequence spread spectrum communication system for use in power line data transmission. Advantages of power distribution circuits include reasonably universal coverage and easy access via a standard wall plug. Disadvantages include limited communication bandwidth, relatively high noise levels, and varying levels of impedance, noise, and attenuation. Spread spectrum signalling provides immunity to narrow-band signal impairments and multiplexing capability.

Our prototype power line communication module supports completely physical and data link layers based on the international standard ISO 10368 for reliable high-speed power line communication system. Moreover it provides useful functions to compose a plant monitoring and control system. All the circuits of the communication module are included in one compact circuit. Thus a functional

communication system for the power line plant monitoring and control is implemented.

Key words : power line data transmission, spread spectrum communication

1. 서론

1920년 초에 시작된 PLC(Power Line Carrier Communication) technique은 voice communication과 supervisory control의 분야에서 사용되어왔다. 초기에 PLC는 distribution network상의 전기적 잡음과 standing wave 현상에 대한 이해부족, distribution network의 다른 sector에서 발생된 PLC signal로 부터의 간섭 그리고 서로 다른 maker에 의해 사용된 carrier 주파수와 signal structure의 표준화가 이루어지지 않은 점등 많은 문제점을 가지고 있었다. 이 문제점들을 해결하기 위해 transmitter의 signal 강도를 높이고 crystal-controlled oscillator의 사용으로 receiver의 대역폭을 더욱 좁게하였으며 수신기에서의 신호/잡음비를 개선하는 방법이 제시되었고 PLC system이 자체적으로 오류를 진단하기 위한 통신 프로토콜과 잡음제거회로의 개발이 이루어 졌다

[1]. PLC 시스템의 가장 큰 장점은 별도의 통신 선로를 설치할 필요없이 이미 설치된 전력선을 이용하므로 별도의 통신선로의 설치로 인한 비용부담을 줄일 수 있고 data 전송을 위한 terminal로서 이미 설치된 wall socket을 사용할 수 있다는 것으로 가장 간단한 전송수단으로 인정되고 있으며 최근에는 distribution automation과 load management 및 electric meter reading 분야에서 널리 응용되고 있다. 본 논문은 종래의 전력선 통신에서 사용되어 온 협대역 통신방식(FSK, PSK)의 문제점을 해결하고 전송속도와 통신의 신뢰성을 향상시키기 위해 군사용이나 이동통신 분야에서 사용되고 있는 광대역 통신방식(Spread Spectrum)을 채택한 전력선 통신방식 Plant 감시, 제어 시스템 개발에 관한 것으로 2장에서 전력선 통신 개요 및 광대역 통신, 3장에서 시스템 사양 및 구성, 4장 실험방법 및 결과, 그리고 5장 결론으로 구성된다.

2. 전력선통신 개요 및 광대역통신

2.1. 전력선통신 개요

전력선 통신은 별도의 선로를 필요치 않고 이미 설치되어 있는 전력선을 통해 Power Network 상의 어떤 지점과도 통신이 가능하다는 장점을 가진다. 초기에는 전력선을 이용하여 DATA를 전송하기 위해 60HZ(또는 50HZ)의 전원 주파수를 가지는 교류를 Relay 및 전력 반도체 소자를 이용하여 부호화하는 방법이 이용되었다. 이 방법은 주로 조명기기의 Dimming 제어에 활용되었으며 Data 전송속도가 낮다는 단점을 가지고 있다. Data 전송속도를 높이고 통신 신뢰성을 확보하기 위해 협대역의 변, 복조방법이 시도되면서 반송(Carrier) 주파수의 선정과 전력선과의 Coupling 문제가 제시 되었다.

CARRIER 주파수 : 일반적으로 Power Network의 잡음 레벨은 주파수에 반비례하므로 낮은 주파수보다는 고주파를 사용하는 것이 바람직하며, 고주파를 이용하면 저주파를 이용하는 시스템보다 Coupler와 같은 부품의 크기가 작아진다는 장점을 가지나 전송손실이 크다는 단점도 있다[2]. 일반적으로 협대역의 통신방식을 이용할 경우, 수 KHz ~ 100 KHz의 주파수가 이용되고 광대역의 통신방식을 이용하는 경우는 100 ~ 500 KHz의 주파수가 이용되며, 용도에 따라 전용 주파수가 할당된 것도 있다.

COUPLING의 원리 및 방법 : Powerline Coupling이란 전력선 통신에서 변조된 신호를 전력선에 실고, 전력선에 실려있는 신호를 Data 복조를 위해 검출하는 회로로 RF(일반적으로 50 KHz ~ 3 GHz의 주파수대를 지칭함)를 이용하는 Radio System의 Antenna와 같다고 할 수 있다. Power Network상에 신호의 전송은 일반적으로 Data 변, 복조장치(Transceiver)의 입, 출력을 Powerline에 용량성 Coupling함에 의해 이루어진다. 용량성 Coupling을 사용하는 이유는 커패시터의 임피던스 값이 주파수가 높을 수록 작아지기 때문이다. 최근 가장 많이 사용되는 Coupling 방법은 Coupling Transformer를 이용하는 Isolation-Type으로 Transceiver와 접속되는 Coupling Transformer의 1차측(Primary Winding)에 Capacitor를 접속 LC tank 회로를 구성하여 전송 신호에 대해대역 통과필터를 구성하게 하였다. 이 회로는 RF Radio의 주파수 동조회로와 그 구성 및 원리가 같다. 전력선과 접속되는 Coupling Transformer 2차측의 회로 구성은 Secondary Winding과 Coupling Capacitor를 직렬접속하여 구성한다.

전력선 Coupling 회로의 설계시, 여러 가지 고려해야 할 항목이 있다. 그 하나는 Communication 신호의 송신 및 수신시에 요구되는 임피던스 조건이 다르다는 것이다. 일반적으로 전력선 Coupling 회로는 수동소자를 이용한 Coupling 회로와 능동소자를 이용한 전력 증폭기로 구성된다. 신호 전송시에는 앞에서 설명했듯이 Communication 신호에 대해 저 임피던스(Low Impedance)의 조건이 요구된다. 그러나, 수신 Mode에서는 Transceiver의 출력단 임피던스가 낮아지면 Power Network 상에 접속된 다른 전력선 통신 Module에 대해 저 임피던스의 부하로 작용하게 되는 문제점이 있다. 다른 하나는 Power 입력단에 사용되는 EMC 회로의 영향이다. EMC회로는 Capacitor와 Inductor로 구성되며 Powerline Coupling 회로는 Power 입력단에 같이 접속되므로 EMC 회로의 Capacitor에 의해 저 임피던스의 Path가 형성되어 전송신호에 대해 심각한 감쇄를 주게된다[3]. 이 문제를 해결하기 위해서 EMC 회로와 Coupling 회로 사이에 고 임피던스(High Impedance)가 형성되도록 인덕터(Inductor)를 삽입하는 방법이 있다. 그러나, 이때 사용되는 인덕터는 AC Powerline에 설치되므로 주어진 Power Supply의 입력전류에 대해 큰 값을 가져야하며 가격이 고가라는 단점이 있다. 이처럼 전력선 통신 시스템은 Coupling 방법을 제외하고는 지금까지 사용해온 RF나 전용선로를 이

용하는 통신 시스템과 같은 구성을 가진다.

2.2. 광대역통신

협대역 통신방식은 Carrier의 Center 주파수에 전송 Power를 집중시켜 잡음의 영향을 덜 받도록 하는 방법으로 전력선과 같이 부하의 스위칭에 의한 임펄스성 잡음이 심한 환경에서는 통신의 신뢰성을 보장할 수 없고, 전송속도도 빠르게 할 수 없다는 문제점을 가진다. 이 문제점을 해결하기 위해 80년대 말부터 대역 확산(Spread Spectrum)통신방식이 전력선통신에 적용되기 시작하였다. 대역 확산 통신이란 전송신호의 주파수 대역을 정보신호의 주파수 대역보다 훨씬 넓게 확산시켜 정보를 전송하는 통신방식이다. 주파수 대역의 확산은 정보 신호와 독립적인 코드신호(Pseudo Noise)를 사용함으로써 이루어지며, 수신단에서는 이 코드 신호를 사용하여 역확산을 수행하고 정보를 복구한다. 대역 확산 통신의 가장 중요한 목적은 의도적인 방해 신호의 존재 하에서도 원활한 통신을 하는 것과 비의도적인 방해 신호를 제거하는 것이다. 일반적으로 통신 방식의 전송 속도는 Shannon의 식에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$C = W \log_2(1 + S/N)$$

C : 전송속도(bps)

W : 반송 주파수 대역폭(Hz)

S : 신호전력(W)

N : 잡음전력(W)

이 식으로부터 광대역 통신방식은 S/N이 작더라도 반송주파수 대역폭을 확대하면 일정한 전송 속도를 확보할 수 있음을 알 수 있다. 이는 S/N 비가 나쁘더라도 정보전송에 사용하는 반송주파수 대역폭을 증가시키면 오차가 적은 전송이 가능하다는 것을 의미한다[4]. 대역 확산 통신은 주파수대역을 확산시키는 방법에 따라 D/S(Direct Sequence), frequency hopping, chirp 으로 분류할 수 있으며, 본 논문에서는 direct sequence 대역확산 방법을 사용하였다.

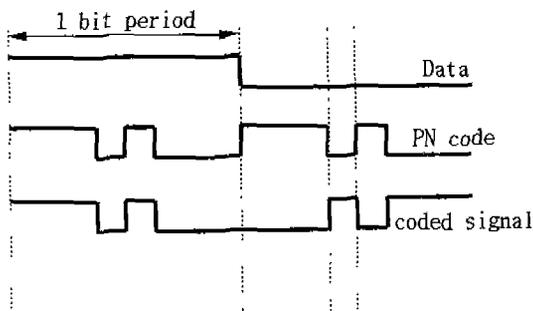


그림 1. Direct Sequence Spreading

3. 시스템 구성 및 사양

본 논문에서는 미국 ANI의 AN192CS Chipset을 사용하여 전력선 통신방식을 이용한 Plant 감시, 제어 시스템을 구성하였다.

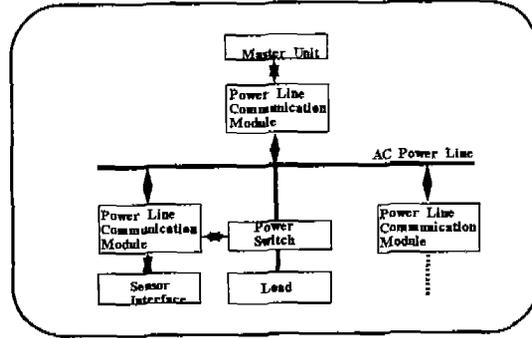


그림 2. 시스템 구성도

시스템의 동작을 간단히 살펴보면, Master Unit (PC)에서 Polling 방식에 의해 Field에 설치된 Slave Unit에게 Sensor 정보를 요구하면 선택된 Slave Unit은 Sensor로부터 정보를 읽어들이고, Powerline Communication Module을 통해 Master Unit으로 정보를 보냄으로써 감시기능을 수행하고 Master Unit은 수집된 정보를 이용하여 Slave Unit에게 Power Switch를 조작하게 하여 부하를 제어하는 기능을 가진다. 그리고, 본 시스템에서는 잡음이 심한 Power Network 환경에서 통신의 신뢰성을 높이기 위해 FEC(Forward Error Correction)와 ARQ(Automatic Repeat Request)의 오류 검출 및 보정방법을 사용하였다. 본 시스템의 개발사양은 High-Speed Powerline Communication의 국제규격인 ISO 10368을 만족하도록 구성되었고 ISO 10368의 내용은 다음과 같다.

- (1) Modulation Method : Broad band
- (2) Carrier Frequency : 140KHz ~ 400KHz
- (3) Synchronization : Preamble Synchronization
- (4) Receiver Sensitivity : 2 mV
- (5) Transmission Media : Three-phase Powerline
- (6) Data Rate : 19,200 bits/s
- (7) Error Rate : $< 10^9$

AN192CS Powerline Communication Chipset은 Transceiver의 기능을 가진 PLC192와 Application Processor인 DLP로 구성되며, AN192CS를 사용하여 구성된 통신 Module의 구성은 다음과 같다.

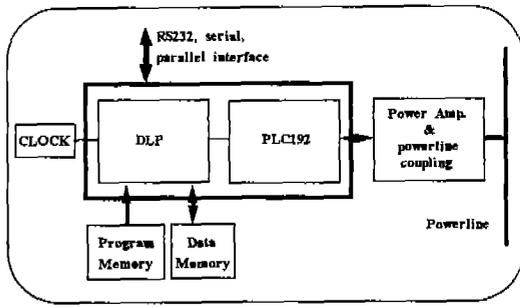


그림 3. Powerline Communication Module

Transceiver의 기능을 가진 PLC192는 0340~034F의 Address 영역을 점유하며, 8개의 Register를 Read/Write 함에 의해 DLP에 의해 Control 된다. DLP는 65C02 8-bit Microcontroller를 Core로 구성되어 있으며 Power Monitor, Watchdog Timer의 기능과 UART(16450)를 내장하고 있다.

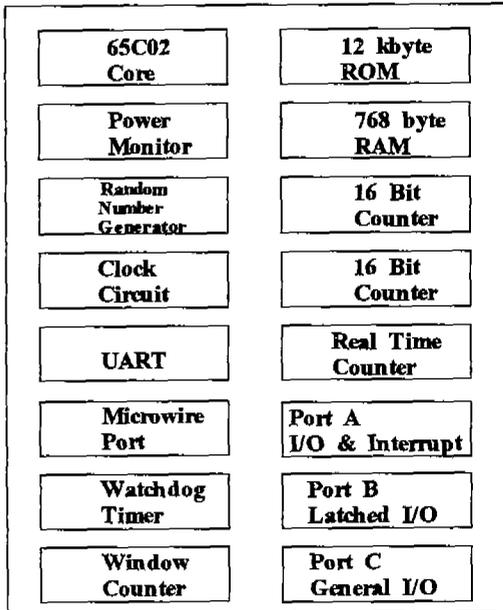


그림 4. DLP Block Diagram

각 Module은 2 byte의 Address를 가지며, ISO 10368에 의해 Slave Unit은 0001 ~ FFFE (Hexadecimal), Master Unit은 0000 (Hexadecimal)로 주어진다. 즉, Power Network당 65,534개의 Slave Unit이 접속 가능하다. 그리고, 전력선은 부하에 따라 Impedance가 급격히 변화하므로 정보의 원활한 전송을 위해 전송 출력을 Feedback하여 전력선의 Impedance에 따라 출력을 조절하는 Automatic Gain Control 기능을 부가 하였다.

4. 실험방법 및 결과

제작된 Proto-type 통신 Module의 전송특성 및 성능 Test를 위해 아래의 방법을 이용하였다.

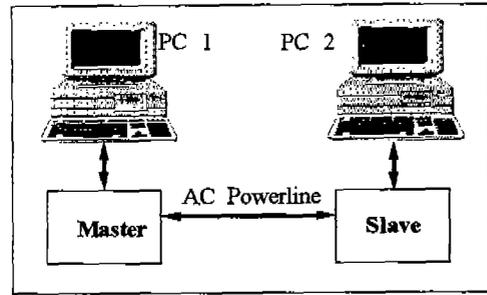


그림 5. Test System 구성

PC 1에 연속 Data Transmission S/W를 install 하고 Master Unit을 통해 Spread Spectrum 변조된 신호를 AC Power Line을 통해 전송하면 Slave Unit을 통해 복조된 Data는 PC 2에 install 된 S/W에 의해 BER(Bit Error Rate)이 check 된다. 실험에서 각 PC에 install 된 S/W는 ANI에서 통신 Module의 성능 평가를 위해 개발한 SPEEDOMETER Test Program을 사용하였다.

아래의 결과는 LeCroy 9314AM Oscilloscope를 이용하여 측정된 전송 신호의 Power Density 이다. 비교를 위해 당사에서 '96년도에 개발한 8 5.95 KHz ~ 87.15KHz의 반송주파수를 사용하는 현대역 전력선 통신 Module의 Power Density 파형을 추가 하였다.

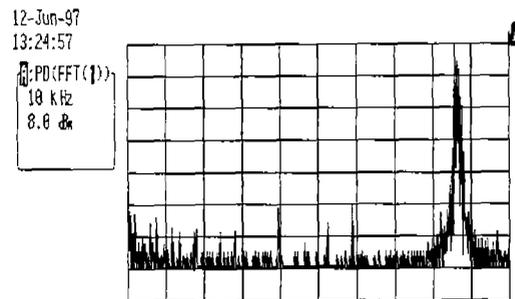


그림 6. Narrow-band Power Density

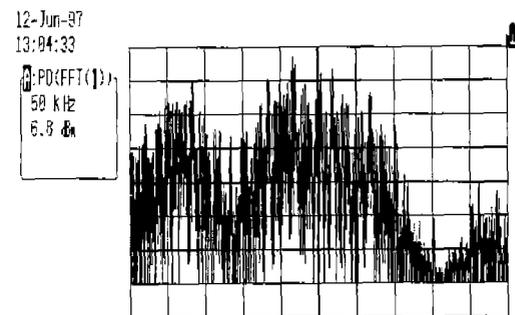


그림 7. Spread Spectrum Power Density

5. 결론

본 논문에서는 대역확산 방식의 전력선 통신을 이용한 Plant 감시 제어 시스템을 제안하였다. 구성된 전력선 통신 Module의 모든 기능은 DLP에 내장된 8-bit Microcontroller인 65C02에 의해 제어된다. Power Density test를 통해 제작된 Proto-type 통신 Module이 ISO 10368의 Physical Requirement를 만족함을 확인할 수 있었다. 그리고, 제작된 통신 Module은 향후 OA, FA, BA분야에서 널리 활용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] Yosef S. Sherif, S. S. Zahir, "ON POWER LINE CARRIER COMMUNICATION (PLC)", Microelectron, Vol. 24, pp 781 ~ 791, 1984
- [2] Peter K. Van Der Gracht, Robert W. Donaldson, "PSEUDONOISE SIGNALLING FOR POWER LINE CARRIER APPLICATIONS", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-1, pp 79 ~ 84, January 1986.
- [3] K. C. Abraham, S. Roy, "A NOVEL HIGH-SPEED PLC COMMUNICATION MODEM", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, pp 1760 ~ 1768, October 1992.
- [4] 정한택, "확산 스펙트럼 방식의 실내 무선 데이터 전송과 오류 개선에 관한 연구", 충북대 석사학위논문, 1995.
- [5] "65C02 SOFTWARE MANUAL", THE WESTERN DESIGN CENTER, INC.
- [6] "AN192CS Data sheet", ANI
- [7] ISO 10368