

40kbps급 협대역 전력선 통신 모듈 구현에 관한 연구

이원태\*, 이재조\*, 김관호\*, 변민섭\*\*, 우대호\*\*, 정영화\*\*\*, 김철\*\*  
 \* 한국전기연구원, \*\* (주)플레넷, \*\*\* 남서울대학교

A Study on 40kbps Narrowband Powerline Communication Modem Implementation

Wontae Lee\*, Jaejo Lee\*, Kwanho Kim\*, Minsup Beun\*\*, Daeho Woo\*\*, Younghwa Jeong\*\*\*, Chul Kim\*\*  
 \* KERI, \*\* Planet, \*\*\* Namseoul University

**Abstract** - 대역확산기술의 하나인 Chirp 방식을 이용하여 기존의 전력선 통신모뎀 보다 고속 전송이 가능한 40kbps급 협대역 전력선 통신모뎀을 구현하였다. 본 연구에서 구현한 모뎀은 CEBus 규격을 사용하였으며, 100~380kHz의 선형 가변 주파수 신호가 25us 동안 지속한 심볼을 사용하였다. 그리고 구현된 모뎀의 무부하 선로, 각종 부하 및 잡음환경에서의 특성실험 결과, Chirp 방식의 통신기술이 협대역에서 40kbps 이상의 속도를 낼 수 있는 가능성을 확인하였다.

1. 서 론

초고속 정보통신망의 보급에 따라 홈 네트워킹 기술과 연동된 정보 활용 서비스에 대한 소비자의 욕구(cyber home, cyber office, entertainment 등)가 급속히 팽창하게 되었고, 그 결과 정보화된 가전기기의 개발이라는 산업적 분위기가 조성되었다. 이에 따라 국내의 가전기기 제조업체에서는 디지털 가전기기의 개발에 착수하여 시장의 조기 진입과 점유율 확보를 위한 경쟁을 치열하게 벌이고 있다.

이러한 상황에서 가전업체들의 고민은 개별적으로 개발된 디지털 가전기기들을 네트워크화하기 위한 최상의 솔루션을 선정하는 것이었고, 기술 및 산업 분석을 통해 현재는 국내외적으로 전력선 통신기술을 이용한 디지털 가전의 네트워크화라는 흐름이 주도적으로 형성되어 있다. 즉 전력선을 매체로 한 디지털 가전기기의 네트워크는 plug-in만으로 설치가 가능하여 사용이 용이하고, 또한 추가 기기의 설치가 간단하여 디지털 가전 네트워크의 확장성이 뛰어나며 그리고 추가 배선의 불필요로 인한 가격 경쟁력 확보 등을 바탕으로 홈 네트워킹에 있어 최상의 솔루션으로 평가받고 있다.

본 논문에서는 Spread Spectrum 기술의 하나인 Chirp 방식을 이용하여 기존의 제품보다 고속 전송이 가능한 40kbps급의 전력선 통신모뎀을 구현하였다. 이 방식은 Direct Sequence나 Frequency Hopping 방식보다 전송속도 면에서는 다소 불리한 기술이나 다른 SS 방식보다 잡음에 강하다는 장점을 가지고 있어 전력선과 같은 채널 환경에 적합한 기술이다.

Chirp 방식의 Transceiver에서 Chirp symbol의 발생은 CEBus 규격을 사용하여 Encoding/Decoding 하였으며, Chirp symbol은 100~380kHz의 선형 가변 주파수 신호가 25us 동안 지속되도록 하였다. CEBus 규격에서 사용되는 Chirp 신호는 200~400kHz 까지 변한 후 다시 100~200kHz 까지 변하는 신호를 사용하도록 되어 있으나, 여기에서는 가변 Symbol Chirp 방식을 사용하여 Physical Layer에서 사용하는 캐리어는 CEBus를 포함하도록 하였다.<sup>[1][2]</sup>

송신부는 Preamble, Preamble\_EOF, Packet body 및 CRC로 구성하였으며, Packet body는 8kbyte의 데이터를 가변적으로 전송할 수 있는 구조로 설계하였다. 수신부는 부호화된 신호의 상관값을 비교하여 Symbol Chirp 신호가 감지되면 MCU에 positive pulse로 전달하고

MCU는 pulse와의 time interval을 측정하여 데이터를 복원하는 구조로 설계하였다.

2. 40kbps PLC 모뎀 구성

2.1 40kbps PLC 모뎀 사양

표1에 본 연구에서 개발한 협대역 전력선 모뎀의 사양을 나타내었으며, alter의 FPGA를 이용하여 PLC 모뎀의 송·수신부를 설계하였다. 이때 전력선 Physical Layer에서 전송되는 심볼들은 2.2절과 같은 Packet의 구조를 따른다.

표1. 40kbps PLC 모뎀 사양

항 목	내 용
전원 연결	220VAC, 60/50Hz
사용 전원	±12VDC, +5VDC, +3.3VDC
변조 방식	Chirp방식 Spread Spectrum
사용 주파수	100~380kHz
MCU	ATmega103
FPGA	EPF10K100ARC240-3
전력선 Coupler	HPF(10kHz cutoff frequency)
수신 Filter	100~400kHz 4차 Chebyshev BPF
증폭기	1단 A급 트랜지스터 증폭기
마이크 인터페이스	8bit address, 8bit data, RD, WR, ALE, INT1, INT2
시스템 클럭	5.12MHz
전송 속도	최고 : 40kbps, 최저 : 20kbps, 평균 : 30kbps
CRC	CRC16
Packet Length	1~8 kbyte 가변
Compliance	CEBus compatible
사용자 인터페이스	RS232, 9600/19200bps

2.2 Packet 구조

본 연구에서 사용된 Packet 구조는 그림1과 같다.

Preamble	Preamble_EOF	Packet Body	EOP	CRC16
----------	--------------	-------------	-----	-------

그림1. Packet 구조

Packet Encoding은 SUPERIOR 상태와 INFERIOR 상태를 이용하고 2 상태를 반복한다. Packet의 각 구조는 항상 SUPERIOR 상태로 시작한다. 각 상태와 그 때의 데이터에 따라 달라지는 Symbol 인코딩은 표2에 표시하였다.

표2. 상태와 데이터에 따른 Symbol 인코딩

구분	상 태	
	SUPERIOR	INFERIOR
데이터 1	25us동안 symbol presence	25us동안 symbol absence
데이터 0	50us동안 symbol presence	50us동안 symbol absence

위의 표2에 따라 이진 데이터 10110100을 인코딩 하면 그림2와 같다.

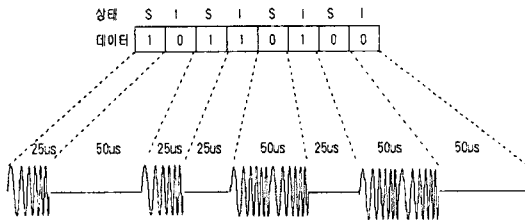


그림2. 10110100 Encoding

### 2.2.1. Preamble

Preamble은 Packet의 시작을 나타내며 DLL층의 ID나 다른 식별자를 표시하는데 사용된다. 25us의 Unit Symbol Time을 사용하며 항상 SUPERIOR 상태로 시작한다. Preamble code는 0x69(01101001)를 default로 사용하며 Register Preamble에 값을 write함으로써 동작 중에도 가변할 수 있다. Preamble의 default 값인 0x69(01101001)를 인코딩하여 나타내면 그림3과 같다.

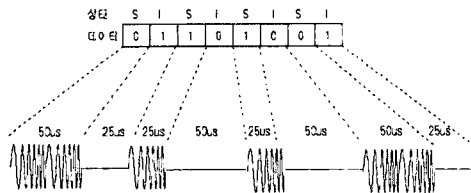


그림3. 0x69(01101001) Encoding

### 2.2.2. Preamble EOF(End Of Field)

Preamble EOF는 25us의 연속적인 8 UST를 '1111111'로 인코딩하여 Preamble의 끝을 알려준다. 항상 SUPERIOR 상태로 인코딩되며 가변할 수 없다. 그림4는 Preamble EOF를 Symbol을 이용하여 표시한 것이다.

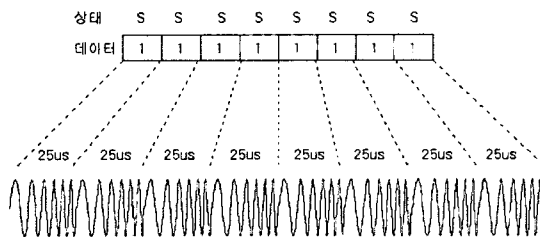


그림4. Preamble EOF Encoding

### 2.2.3. Packet Body

Preamble과 동일한 인코딩 방식을 사용한다. 항상 SUPERIOR 상태로 시작하며 SUPERIOR와 INFERIOR의 상태가 교대로 반복되며 데이터 비트와 조합되어 인코딩 된다.

### 2.2.4. EOP(End Of Packet)

EOP는 25us의 연속적인 4 UST를 '1111'로 인코딩하여 패킷의 끝을 알려주며 항상 SUPERIOR 상태이다. 그림5는 EOP를 인코딩하여 나타낸 것이다.

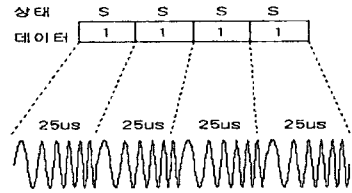


그림5. EOP Encoding

### 2.2.5. CRC

CRC는 CRC16을 사용하며 SUPERIOR 상태로 시작한다. CRC16 비트 중 마지막 비트는 INFERIOR로 끝나기 때문에 항상 Dummy Symbol을 붙여서 CRC 끝을 알려준다. 그림6은 CRC16을 인코딩한 것으로 마지막에 Dummy Symbol을 발견할 수 있다.

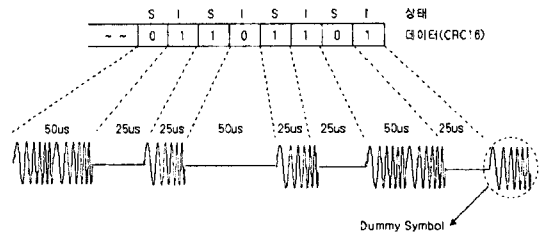


그림6. CRC16 Encoding

### 2.3 트랜시버 구현

그림7은 본 논문에서 구현한 전력선 트랜시버의 내부 구조이다. 그리고 그림8에 실제 구현된 전력선 PLC 모듈을 나타내었다.

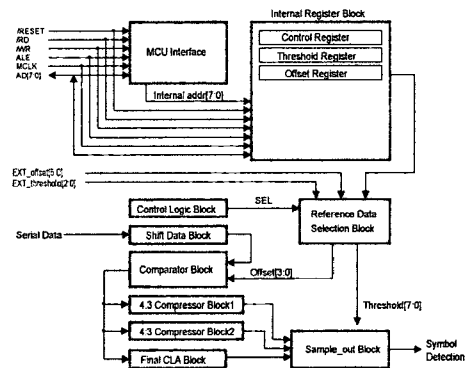


그림7. 전력선 트랜시버 블록도

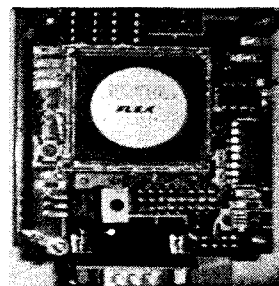


그림8. 구현된 전력선 트랜시버

### 3. 실험 및 결과

구현된 40kbps급 전력선 모뎀의 특성 분석을 위하여 각종 부하 및 잡음환경에서 특성시험을 실시하였다. 실험 환경은 그림9와 같으며, 부하는 가정에서 사용하는 가전기기의 커패시터 부하를 근사화하여 실험하였고, 잡음은 가정용 진공청소기와 Halogen lamp를 사용하였다.

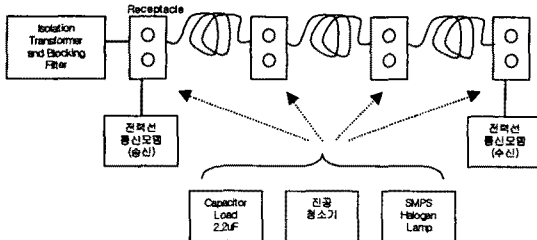


그림9. 전력선 통신 실험 환경

부하 실험에서는 감쇄와 위상 왜곡에 의한 영향이 주로 나타났으며, 중폭기와 필터의 위상 보정으로 문제점을 해결하였다.

실험 결과 전체 90m의 전력선에 0m, 30m, 60m 지점에 2.2uF의 과부하(사용 주파수 대역에서 1 ohm 이하)를 연결하였을 경우에 -40~-60dB의 감쇄에서도 정상적으로 통신하는 것으로 나타났다.

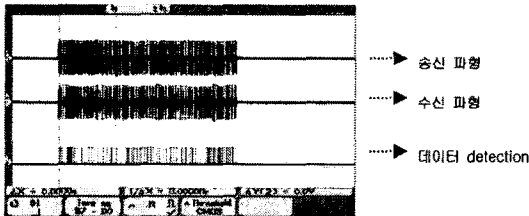


그림10. Clean line시의 송수신 파형

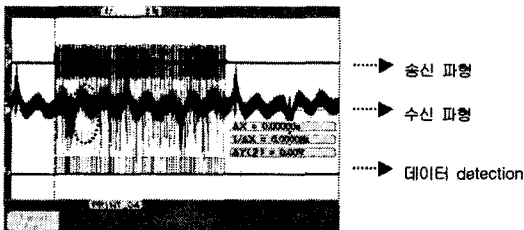


그림11. 캐패시터 부하시 송수신 파형

그리고 잡음 실험에서는 진공청소기와 Halogen lamp를 사용하였다. 진공청소기는 약 10kHz 대역에서, 그리고 Halogen lamp는 100kHz의 기본 주파수와 고조파가 많이 발생된다. 캐패시터 부하시 10kHz 대역의 진공청소기 잡음에서는 대역 밴드 필터(100~200kHz)를 이용하여 잡음을 걸러내어 통신하나, 반송파 주파수를 침범하는 Halogen lamp 잡음에서는 수신부에 가까울수록 burst 에러가 크게 발생함을 알 수 있었다.

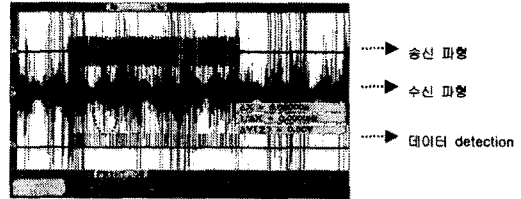


그림12. 캐패시터/청소기 부하시 송수신 파형

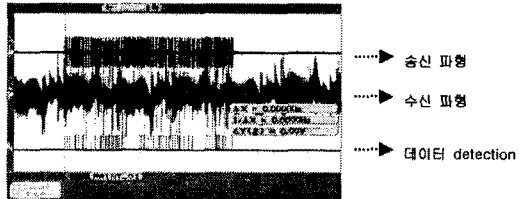


그림13. 캐패시터/할로겐 램프 부하시 송수신 파형

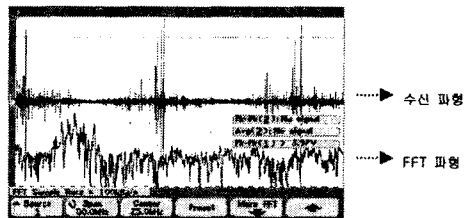


그림14. 청소기 잡음 주파수 특성

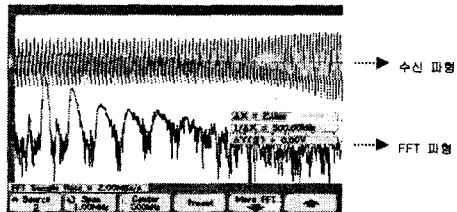


그림15. 할로겐 램프 잡음 주파수 특성

### 4. 결 론

본 논문에서는 대역확산 통신기술의 하나인 Chirp 방식을 이용하여 기존의 전력선 통신기술 보다 고속전송이 가능한 40kbps급 협대역 전력선 통신모뎀을 구현하고, Clean Line, 부하, Noise 등의 각종 전력선 통신실험을 통하여 시스템 성능을 확인하였다.

이와 같은 실험에서 본 연구에서 개발한 Chirp 방식 Spread Spectrum의 40kbps급 전력선 통신모뎀이 기존의 전력선에서 상용화 가능성이 충분히 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 주파수 대역으로 침범하는 잡음에 대해 SNR이 낮을 때에는 전원의 zero-crossing 부분에서 잡음이 상대적으로 많이 감쇄하므로 이 부분을 통신 프로토콜로 해결하는 방법과 과부하시 광대역의 반송파가 협대역(거의 단일 주파수)으로 왜곡이 될 때의 문제점 등은 계속 연구할 필요가 있다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Klaus Dostert, *Powerline Communications*, Prentice Hall, 2001
- [2] Grayson Evans, *CEBus Demystified The ANSI/EIA 600 User's Guide*, McGraw-Hill, 2001