

신 광 영* 강 병 권* 황 금 찬*
* 연세 대학교 전기 공학과

A study of DS/SS power line communication systems
for burst-format data transmission

Okwang-young Shin* Byeong-gwon Kang* Keum-chan Whang*
* Dept. of Electrical Eng., Yonsei Univ.

ABSTRACT : A burst type DS/SS communication modem is constructed for the communication over electric power distribution line with high impulsive noise and narrow-band interferences and its characteristics over simulated electric power line are investigated.

제 1 장 서론

전력망의 부하 관리와 배전 자동화를 위하여 전력선을 통신 매체로 하는 통신 시스템은 1890년대 말부터 연구되었으며, 최근에는 가정 자동화, 공장 자동화, 사무 자동화, 빌딩 관리 자동화, 컴퓨터 통신등을 위하여 건물내의 저압선을 이용한 전력선 통신의 필요성이 급격히 증대하고 있다.

건물내 저압선을 이용할 경우 건물내의 거의 모든 지점들이 저압의 회로망을 통해 연결되어 있으므로 임의의 두 지점간의 데이터 교환을 위해 별도의 통신 선로를 설치할 필요가 없으며, 일반적인 벽면 플러그 (standard wall plug) 를 이용하여 상호 접속 (interface) 을 간단히 해결할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 채널에서의 잡음 레벨이 상대적으로 높고 임펄스성이 강하며, 임피던스, 감쇄, 잡음등의 레벨이 주시로 변화한다는 문제점을 지니고 있다. 따라서 일반적인 디지털 변복조 방식으로 전송된 데이터는 손상받기 쉬우며 보다 신뢰성 있는 통신 방식이 요구된다.

이상과 같은 문제점을 해결하고 전력선을 통신 매체로 이용하기 위하여 스펙트럼 확산 통신 방식이 제시되어 왔다. 스펙트럼 확산 통신 방식은 전송 신호의 대역을 정보 대역보다 넓게 확산시켜 전송하고 수신단에서는 이를 다시 역확산시켜, 이때 얻어지는 신호 처리 이득 (processing gain) 을 이용하여 정보 신호를 복구함으로써 통신의 신뢰성을 향상시키고자 하는 신호 전송 방식으로, 임펄스성 잡음 (impulsive noise) 과 협대역 간섭 (narrowband interference) 및 다중 경로 페이딩 (multipath fading) 에 강하다.

본 연구에서는 직접 시퀀스 스펙트럼 확산 통신 (direct sequence spread spectrum communication) 방식을 이용하여 전송하고자 하는 정보의 형태가 버스트형 (burst format) 패킷 (packet) 인 경우의 전력선 통신 시스템을 고려하였으며, 큰 임펄스성의 잡음이 존재하는 전력선 채널에서도 신뢰성 있는 통신을 하기 위한 시스템을 구현하고자 한다.

송신단에서는 페킷화한 데이터를 대역 확산하여 저압선으로 전송하고, 수신단에서는 디지털 정합 필터 (digital matched filter) 를 이용하여 코드 동기 (code synchronization) 및 데이터 결정 (data decision) 을 수행하며 이러한 송수신단을 각각 IBM PC 와 상호 접속하였다. 송신단측에서는 IBM PC 를 이용하여 전송할 데이터를 발생시키고, 수신단측에서는 수신된 패킷의 수, 비트 오류 (bit error), 패킷 손실 (packet loss) 및 비트 오류율 (bit error rate) 등을 IBM PC 를 통하여 확인 (monitoring) 할 수 있게 하였다.

제 2 장 DS/SS 전력선 통신 시스템

전력선 채널에서 협대역의 정보 신호를 일반적인 디지털 변조 방식을 이용하여 전송하였을 경우에는 전송된 신호가 손상되기 쉬우며, 특히 강한 임펄스성의 잡음이나 특정 대역에 있어서의 주파수 노치 (notch) 현상 등은 신호 전송을 가장 어렵게 하는 요인이 된다. 이상과 같은 문제점에 대한 대책으로 스펙트럼 확산 통신 방식이 제시되었으며, 본 연구에서는 직접 시퀀스 스펙트럼 확산 (direct sequence/spread spectrum : 이하 DS/SS 라 함) 통신 방식을 이용한 전력선 통신 시스템을 그림 1 과 같이 구성하였다.

DS/SS 통신 시스템의 수신기가 수신 신호를 역확산하기 위해서는 전송된 PN 코드의 위상과 수신단 PN 코드의 위상을 일치시키는 코드 동기 (code synchronization) 가 선행되어야 한다. Burst형 데이터의 경우 전치 부호 (preamble) 를 이용하여 코드 동기를 이룬 후 데이터 결정 (data decision) 을 행한다. 본 연구에서는 전송 신호의 형태가 버스트형 (Burst format) 의 패킷 (packet) 이므로 전치 부호 (preamble) 의 시간내에 코드 동기가 이루어지도록 하기 위하여 정합 필터 방식을 사용하였다.

그림 2 는 DMF (digital matched filter : 이하 DMF 라 함) 를 이용한 동기 검출 및 데이터 결정부를 나타낸 것이며 동기 검출 및 데이터 결정 과정은 다음과 같다. 우선 전치 부호 (preamble) 용 DMF의 출력이 정해진 문턱 전압 (threshold voltage) 을 넘는지를 검사하여 넘은 직후부터는 매 데이터 비트 간격마다 데이터용 DMF의 출력을 샘플하여 정렬별 (positive level) 이면 데이터를 '1' 로 결정하고, 부레벨 (negative) 이면 '0' 으로 결정한다. 문턱 전압을 검사할 때는 사이드로브 (sidelobe) 에 의해 오판될 수 있으므로 데이터 신호와는 달리 '0' 레벨보다 높은 레벨의 문턱 전압이 요구된다. 따라서 잡출 레벨을 높게 하기 위하여 전치 부호용 PN 코드는 일반적으로 데이터의 PN 코드보다 많은 수의 칩수를 필요로 한다. 만일 전치 부호를 찾지 못하면 이는 패킷의 손실을 의미한다. 패킷의 길이에 해당하는 비트수만큼 데이터의 결정이 이루어지면 동기 시스템은 다시 전치 부호를 탐색하게 된다.

제 3 장 시스템 구성

Burst 형 데이터를 전송하기 위한 DS/SS 전력선 통신 시스템은 크게 송신단, 칩복조기 및 결합기, 수신단으로 구성된다. 송수신단을 각각 IBM PC 와 상호 접속하여 전송된 패킷의

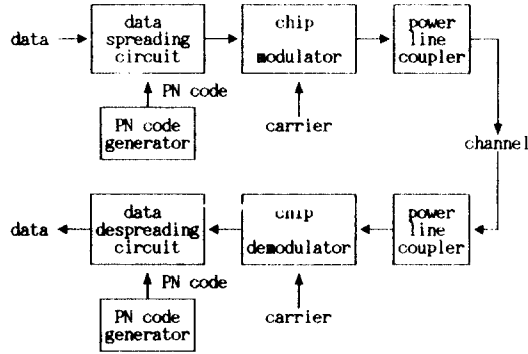


그림 1 DS/SS 전력선 통신 시스템의 구성도

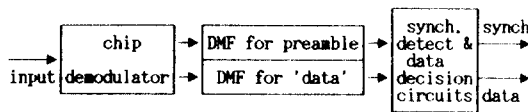


그림 2 DMF를 이용한 코드 동기 및 데이터 결정

수와, 수신된 패킷의 비트 오류 (bit error rate) 및 패킷 손실 (packet loss)의 측정이 가능하도록 하였다.

3-1 송신단

송신단의 블록도는 그림 3 과 같다. 송신단은 전송하고자 하는 데이터를 패킷화한 후 전치 부호 (preamble) 를 첨가하고 PN 부호 발생기로부터 발생된 PN 부호를 사용하여 데이터 신호의 주파수 대역을 확산시키는 역할을 한다. 패킷을 전송하는 과정은 PC와 상호 접속 (interface) 부에 의한 과정과 외부 회로에 의한 과정으로 나누어지며, 이 두 과정은 한 비트의 플래그 (flag) 의 내용에 따라 연결된다.

3-2 칩변복조기 및 결합기

칩변복조기 및 결합기는 송신단의 최종 출력 신호를 변조하여 저압선을 통해 전송하고 수신된 신호를 다시 기저대역의 신호로 복조하여 수신단의 DMF의 입력으로 가해주는 역할을 한다. 본 연구에서는 칩변복조 방식으로 FSK 를 사용하였으며 변복조기로서 National Semiconductor 사의 LM1893을 사용하였다.

결합기 (coupler) 는 칩변복조기를 전력선에 연결해 주는 부분으로서 60[Hz] 의 전력 신호는 제거하고 고주파의 반송파 (carrier) 신호만을 통과시키며, 전력선과 칩변복조기의 출력단 임피던스를 정합 (matching) 시켜 통신 신호의 반사 및 손실을 막는 역할을 한다.

3-3 수신단

수신단은 DMF와 동기 검출 및 데이터 결정부, PC 와의 상호 접속을 위한 I/O 어드레스 해독부 및 패킷 버퍼에 이루어진다. 그림 4는 수신단의 구성도이다. 코드 동기 및 데이터 결정을 위해 쓰이는 DMF는 수신단의 가장 핵심적인 부분으로서 입력 신호를 저장하는 SIPO (serial input parallel output) 쉬프트 레지스터와 디지털 출력력을 갖는 가산기 (adder) 로 구성된다. SIPO 쉬프트 레지스터는 정출력 (positive output : Q)과 부출력 (negative output : \bar{Q}) 을 갖는 D-FF (flip-flop) 들을 직렬 (cascade) 로 연결하여 구성하였다.

정합 필터의 임펄스 응답은 처리하고자 하는 입력 신호의 시간 반전된 특성을 가지므로 레지스터의 출력 패턴을 '1'에 대해서는 정출력이, '0'에 대해서는 부출력이 가산기 입력으로 가해지도록 하였다. 이는 기존 신호와 입력 신호가 이진 곱셈이 된 후 가산기에 가해지는 것과 동일한 효과를 나타낸다. DMF는 송신단의 칩레이트 (chip rate) 와 동일한 속도의 클럭으로 SIPO 입력 쉬프트 레지스터를 쉬프트하며 이보다 빠른 클럭으로 PISO 쉬프트 레지스터를 쉬프트한다. 최종 출력

을 레치한 후 EOC (end of correlation) 신호를 발생시키며 이 신호는 코드 동기후에 데이터 결정을 위한 타이밍 신호로 사용된다. 그림 5 는 DMF의 출력이 매 칩주기마다 계산되는 타이밍도이다.

또한 본 시스템에서는 DMF에서 임시저장용 PISO 쉬프트 레지스터를 전치 부호와 데이터 신호에 대한 두 개를 갖도록 하여 한개의 DMF로 전치 부호와 데이터 신호에 대한 정합 필터의 기능을 겸할 수 있도록 하였으며 동기 검출 및 데이터 결정부의 모드 (mode) 신호에 의해 제어되도록 하였다. 동기 검출 및 데이터 결정부는 DMF의 출력이 문턱 전압 (threshold voltage) 을 넘는가를 검사하여 넘었으면 DMF가 데이터 비트에 대한 정합 필터로 동작하도록 모드 (mode) 를 바꾸고 그후로부터 EOC 신호를 데이터 비트의 칩수만큼 카운트하여 데이터를 샘플한다.

패킷의 비트수만큼 샘플을 하고 나면 플래그를 '1'로 세트하고 모드를 전치 부호용으로 전환한 후 다시 문턱 전압을 넘는지를 검사한다. 여기서 플래그는 송신단에서와 마찬가지로 외부 회로와 PC 및 상호 접속 (interface) 부의 동작을 연결시켜주는 역할을 한다. 플래그가 세트되었으면 PC 는 SIPO 쉬프트 레지스터로 이루어진 패킷 버퍼에서 데이터를 읽고 플래그를 '0'로 리세트한 후, 비트 에러 및 비트 에러율을 계산하여 CRT 화면에 나타낸다. 그리고 다시 플래그가 세트되었는지를 검사하는 처음 동작으로 돌아간다.

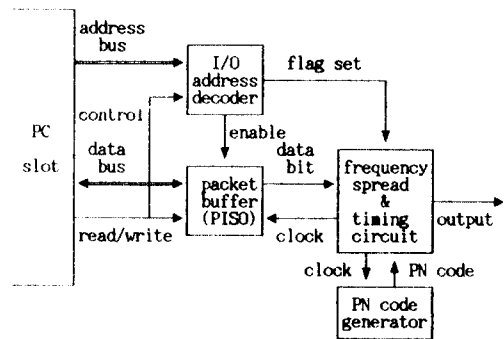


그림 3 송신단 블록도

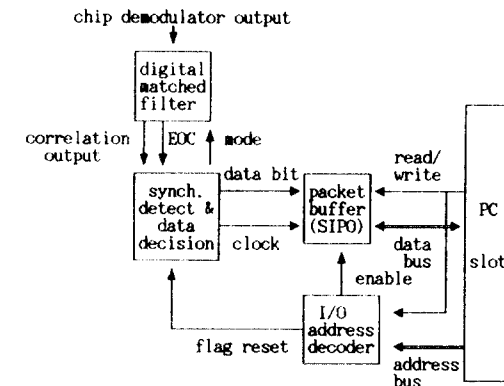


그림 4 수신단 블록도

제 4 장 실험 및 결과 고찰

본 실험에서는 다음과 같은 사양의 DS/SS 전력선 통신 시스템을 제작하고, 길이 35m 의 모의 전송로를 구성하여 강한 임펄스 잡음하에서의 비트 오류율과 패킷 손실을 측정하였다.

제 5 장 결론

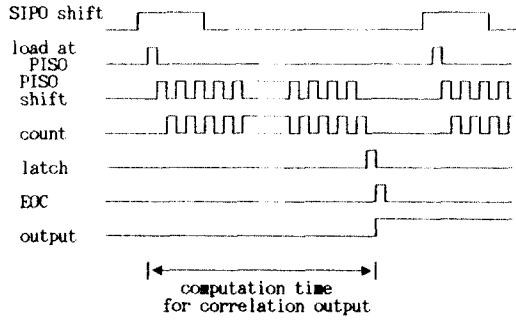


그림 5 DMF의 타이밍도

표 1 시스템 사양

데이터 패킷의 길이	1~63 bits (variable)
전치 부호의 길이	1 bit
PN 코드의 길이	전치 부호용 : 31 chips
	데이터 비트용 : 15 chips
데이터 레이트	333.3 bps
칩 레이트	5 kHz
집변조 방식	frequency shift keying
반송파 주파수	125 kHz
대역폭	10 kHz

송신단에서 전송되는 Burst형의 패킷은 전치 부호용 PN 코드 뒤에 데이터용 PN 코드가 연속적으로 발생되는 모습으로 나타나며, 칩복조기에 의해 반송파 신호로 바뀌어 전력선으로 보내진다. 수신단에서는 이 신호를 복조하고 역확산하여 데이터를 복구하는데 DMF는 이러한 기능을 수행하는 수신단의 가장 핵심적인 부분이다.

그림 6은 데이터가 '111'인 패킷이 전송되었을 경우의 DMF 출력이다. 전치 부호용 PN 코드에 대한 DMF의 출력은 문턱 전압을 넘게 되면 DMF는 데이터용 PN 코드에 대한 것으로 모드가 전환되며 패킷의 데이터 비트수 만큼의 시간 후에 다시 전치 부호를 위한 모드로 전환된다. 따라서 DMF는 그림 6의 (a)와 같은 PN 부호에 대하여 (b)와 같은 출력을 나타낸다. 전치 부호의 경우 31칩 PN 코드를 사용하였으며 15칩 PN 코드를 사용한 데이터의 경우보다 높은 코릴레이션 피크를 나타내고 있다. 문턱 전압을 넘은 것이 감지되면 데이터 칩수 만큼 EOC 신호를 카운트하여 데이터 결정을 위한 샘플 펄스를 발생시킨다. 그림 7은 DMF의 출력 파형의 모습과 데이터 결정을 위한 샘플 펄스의 모습이며 그림 8은 샘플 펄스에 의해 데이터 비트가 '010'인 패킷이 복구된 모습이다.

전력선 채널의 특성중의 하나는 채널에 존재하는 잡음이 매우 임펄스성이라는 점이다. 대표적인 임펄스 잡음원으로 light dimmer, universal ac motor 등을 들 수 있다. 본 실험에서는 연속적이고 강력한 임펄스 노이즈를 발생시키는 진공 청소기를 모의 채널에 연결하고, 이 상태에서의 시스템 성능을 측정하였다. 그림 9는 채널에 강력한 임펄스 노이즈가 존재할 때 송신 파형 (a)와 수신 파형 (b)를 나타내고 있다. 그림 10은 이러한 상태에서 FSK 방식으로 수신하여 에러가 발생하고 있는 것이고 그림 11은 같은 상황에서 어려움이 데이터 신호를 복구하는 것을 보여주고 있다. 그림 12는 수신 레벨에 대한 데이터 오율로서 수신단에서의 여러 가지 문턱값(threshold level)에 대하여 측정된 결과이다.

본 연구에서는 전력선을 통신 선로로 사용할 때 생기는 문제점인 강한 임펄스성 잡음과 협대역 간섭에 대처하기 위하여 직접 시퀀스 스펙트럼 확산 통신 방식의 전력선 통신 시스템을 설계, 제작하였다. 또한 모의 채널을 구성하여 인위적인 노이즈를 가함으로써 여러가지 상황에서 시스템 성능을 측정하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 데이터 구조를 burst형 패킷 통신에 적합하게 전치부호와 데이터로 구분하였으며, 이 두 신호를 복조하기 위하여 디지털 정합 필터를 사용하였다.
2. 디지털 정합필터 하나를 사용하여 코드 동기화 및 데이터 복구를 수행하였고, PC에 접속함으로써 비트 에러율과 패킷 손실을 쉽게 측정하였다.
3. 시스템 성능 측정 결과 강한 임펄스성 채널에서 노이즈 피크치보다 약 40 dB 낮은 신호 레벨로도 10⁻⁴ 정도의 비트 오율을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] H. Ochsner, "Data transmission on low voltage power distribution lines using spread spectrum techniques," Proc. of Canadian Comm. Power Conference, Montreal, Quebec, pp. 236-239, Oct., 1980
- [2] Peter K. Van Der Gracht and Robert W. Donaldson, "Communication using pseudonoise modulation on electric power distribution circuits," IEEE Trans. on Comm., pp 964-974, Sep. 85
- [3] 노병철, "수동 코릴레이터를 이용한 DS/SS 전력선 통신 시스템에 관한 연구," 석사 학위 논문, 연세대학교 대학원, 1990
- [4] M. K. Simon, J. K. Omura, R. A. Scholtz and B. K. Levitt, "Spread Spectrum Communications part III," computer science series, 1985
- [5] Robert A. Piety, "Intrabuilding data transmission using power line wiring," Hewlett-Packard Journal, May 1987

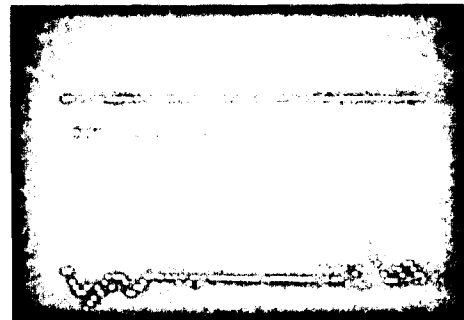


그림 6 칩복조된 패킷의 파형과 DMF 출력

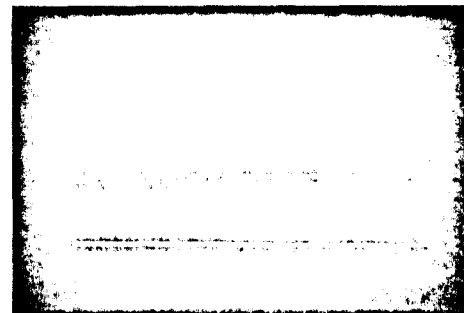
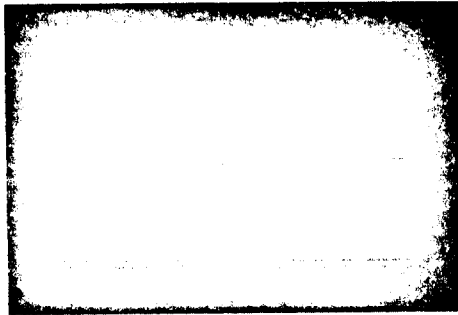


그림 7 DMF 출력과 샘플 펄스



Ver.
 ① : 2[V]
 ② : 5[V]
 Hor.
 2[μ s]

그림 8 DMF 출력과 복원된 데이터

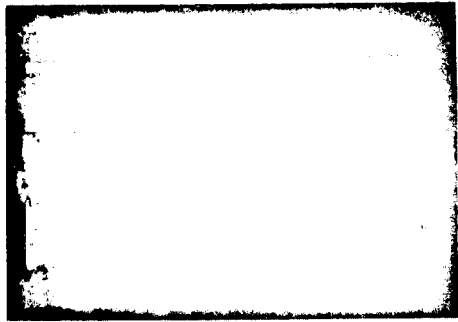


그림 9 강력한 임펄스 노이즈가 존재하
 (a)송신파형 (b)수신파형

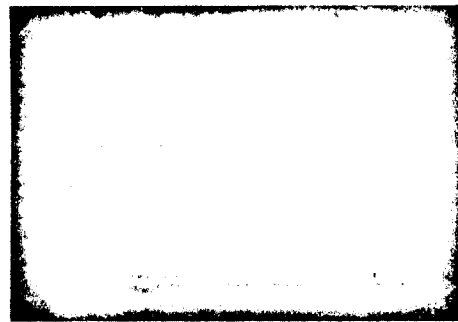


그림 10 노이즈 발생시 FSK 수신 데이터



그림 11 노이즈 발생시 DS-SS 수신 데이터

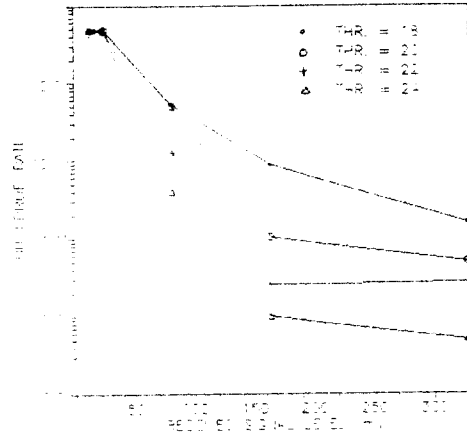


그림 12 문턱 검출치(Threshold)에 따른 BER

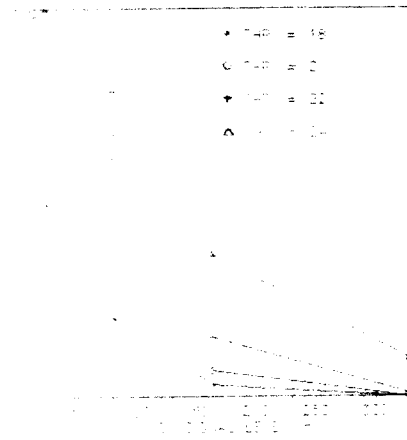


그림 13 문턱 검출치(Threshold)에 따른 패킷 손실률