

전력선 통신을 위한 변조 방식의 특성 비교

서종완, 이정훈, 이종주, 정호성, 신명철
성균관대학교

Comparison with modulation method for PLC

Seo Jong-wan, Lee Jung-hoon, Lee Jong-joo, Jung ho-sung, Shin Myung-chul
Sungkyunkwan university

Abstract - Power Line Communication(PLC) is the old technique. But it's worked in a very low spees. Developing of wireless communication technique, PLC is adopted these tech. for high speed communication. However, Power line environment differ from wireless environment. This paper survey modulation techniques and find the best modulation technique which is appropriate for power line environment.

1. 서 론

전력선 통신은 이미 1920년대부터 고압 송전선에 전력선 반송을 사용한 음성 전화 및 전력센터간의 통신에 사용되어 왔다. 그러나 당시의 기술로는 전력선에 존재하는 잡음 및 부하의 접속에 따라 시시각각 변하는 임피던스 및 통신 채널로써의 열악한 특성을 극복할 수 없어 전력선 통신은 불가능하다고 여겨져 왔었다.

최근 들어 Home Automation 및 Factory Automation 등을 위한 센서와 계측 장치들이 곳곳에 추가되는 추세이다. 따라서 이들로부터 얻어지는 각종 데이터들을 수집, 처리, 교환 및 제어를 위해 Local Network의 필요성이 증대되고 있으며, 이를 위한 통신 채널의 확보가 중요한 이슈로 등장하고 있다.

현재 이러한 Network를 위해 제시되고 있는 것은 크게 유선과 무선으로 구분할 수 있으며 유선방식에는 LAN, IEEE1394, USB, Home-PNA 및 전력선 통신이 있으며, 무선방식에는 IrDA 와 Home-RF, 무선 LAN인 IEEE802.11 및 Bluetooth가 있다. 이 중 유선 방식은 통신을 위해 새로운 선을 설치해야된다는 부담을 가지고 있으며, 무선 방식은 IrDA의 경우 line of sight에 단말이 마주보고 있어야만 통신이 된다는 단점과, Home-RF와 무선LAN, Bluetooth는 그 각각은 ISM(Industrial, Scientific, Medical) band를 사용하므로 상이한 방식을 채택하는 기기들간의 충돌이 문제가 되고 있으며, 다른 대역을 사용할 경우 송신 주파수 사용에 대한 허가를 받아야된다는 문제점을 안고 있다.

유선방식 중에서 전력선을 매체로 사용한 통신은 이미 모든 건물에 설치되어 있으므로 신규 선로 설치에 대한 부담을 피할 수 있을 뿐만 아니라 유선방식이므로 무선에서 사용하는 주파수에 의한 간섭현상에 영향을 받지 않는다.

그러나 전력선은 통신을 목적으로 설치된 것이 아니라 전력 전송을 목적으로 가설된 것이므로 사용 부하에 따라 시시각각 변하는 임피던스 및 주파수 감쇠 등 통신 채널로써는 상당히 열악한 환경이다. 뿐만 아니라 전송 전력의 품질에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 사용해야하므로 전력선을 이용한 효과적인 통신 시스템의 구축이 어려웠다. 즉 전력선 통신에는 다음과 같이 요약되는 문제점들을 가지고 있으며 전력선을 통신채널로 사용하기 위해서는 반드시 극복해야 하는 과제이다.

- 제한된 주파수 대역폭 및 사용 가능 전력
- background noise
- narrowband harmonic noise
- impulse noise
- 건물 내 전력선의 위치와 시간에 따른 임피던스(impedance)와 감쇠(attenuation)의 변동

최근 무선 통신 기술의 발달 등으로 전력선의 문제점들도 무선통신 기술을 적용함으로 해결하고자 하는 많은 시도가 있었으며 주로 대역확산 통신 방식과 멀티캐리어 전송 방식을 적용하고자하는 연구들이 진행되어왔다.

본 논문에서는 이러한 전력선 통신을 위한 변조 방식들의 특성을 비교 검토하여 전력선의 채널 특성에 가장 적합한 변조 방식을 도출해 내고자 한다.

2. 대역확산 통신 방식

2.1 Pulsed FM

FM방식에서 반송파를 펄스 주기동안 변화시키는 방식이다. 이 방식은 광대역 노이즈에 강할 뿐만 아니라, 협대역 방해 간섭을 회피할 수 있는 특징을 가진다. pulsed FM으로 변조된 송신신호 x(t)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$x(t) = \text{Re}\{Ae^{j\psi(t)}\} = A\cos\psi(t)$$

$$\psi(t) = \int \omega(u)du = \int 2\pi f_1(u)du = \int 2\pi\left\{\left(\frac{f_1-f_0}{T_1}\right)u + f_0\right\}du = \left(\frac{f_1-f_0}{T_1}\right)\pi t^2 + 2\pi f_0 t + \phi$$

$$x(t) = \text{Re}\{Ae^{j\left\{\left(\frac{f_1-f_0}{T_1}\right)\pi t^2 + 2\pi f_0 t + \phi\right\}}\} = A\cos\left\{\left(\frac{f_1-f_0}{T_1}\right)\pi t^2 + 2\pi f_0 t + \phi\right\}$$

$$x(t) = \text{Re}\{Ae^{j\left\{\frac{C}{2\Delta}\pi t^2 + 2\pi f_0 t + \phi\right\}}\} = A\cos\left\{\frac{C}{2\Delta}\pi t^2 + 2\pi f_0 t + \phi\right\}$$

송신 신호 x(t)의 $\Delta f/\Delta t$ 가 constant인 경우를 linear pulsed FM이라하며 특히 이 경우를 chirp라 부른다.

2.1.1 chirp

송신 신호 x(t)가 $A\cos(C\pi t^2 + 2\pi f_0 t + \phi)$ 와 같이 되며, 앞의 수식에서 $\Delta f/\Delta t$ 부분이 상수 C가 된다.

다음 그림은 0Hz에서 250Hz까지의 주파수 범위를 갖는 chirp 신호의 시간축과 주파수축 상에서의 파형을 도시한 것이다.

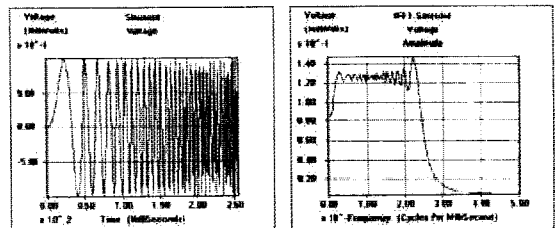


그림 2-1. 0 Hz ~ 250 Hz 범위의 Chirp 신호 pulsed FM을 사용하면 frequency sweep 특성으로 인하여 신호 자체가 반송파와 같은 역할을 하게되어 별도

의 반송파가 필요 없으며, self-synchronizing을 사용할 수 있는 장점이 있다. 이와

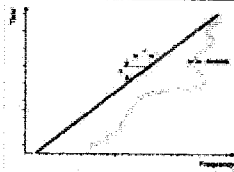


그림 2-2. $\Delta f/\Delta t$

2.2 Frequency Hopping

Frequency Hopping Spread Spectrum 방식은 발/수신기 모두 미리 알고 있는 패턴의 범위 내에서 주파수를 변화시킨 협대역의 반송파를 사용한다. 수신기와 발신기 양측이 적절하게 동기화되면, 하나의 논리적인 채널로 유지되는 효과가 있으며, 관계없는 수신기에 대해 지속성이 짧은 임펄스 노이즈로 인식된다.

Frequency Hopping은 스펙트럼을 확산시켜야 할 신호의 반송파 주파수를 특정한 패턴에 따라 시간적으로 전환하여 시간평균으로 협대역 신호를 광대역 신호로 변환하는 방식으로, 한 주파수에서 짧은 버스트를 송신, 다른 주파수에서 다시 짧은 버스트를 송신. 이상을 반복함으로써 신호를 확산시키며 이를 위해 송신부와 수신부는 같은 주파수에 위치하도록 서로 동기되어야 한다.

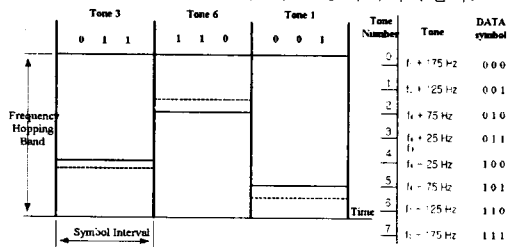


그림 2-3. Frequency Hopping example 8-ary FSK

2.3 Direct Sequence

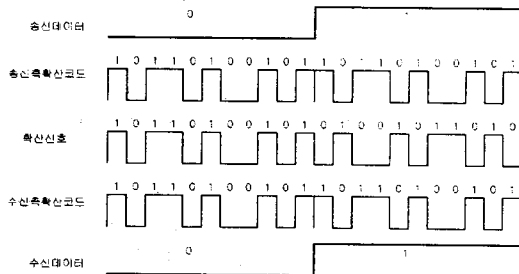


그림 2-4. DSSS 방식에서 11-bit 확산코드를 사용하여 전송 신호를 확산, 전송 후 수신측에서 동일한 확산코드로 원래의 신호로 복호하는 예

Direct Sequence Spread Spectrum 방식 역시 원래의 신호가 갖는 대역폭에 비해 충분히 넓은 스펙트럼을 가진 확산 부호를 이용하여 협대역 신호에서 광대역 신호로 변환하는 것으로 신호는 확산되고 원래 신호의 에너지는 분산된다

그림 2-4는 10110100101의 11-bits 패턴을 확산 코드로 사용하여 원래의 데이터와 연산하여(XOR) 확산 신호를 얻고 이 확산 신호를 수신측에서 동일한 확산 코드를 사용하여 복조한 결과이다. 만약 수신측에서 다른 확산 코드를 가지고 수신한 확산 신호를 복조한 경우는 다음과 같이 잡음의 성격을 띠는 신호로 복조된다.

2.4 Spread Spectrum의 전력선 적용시 문제점

Spread Spectrum 통신 방식은 특정한 PN 부호로 연산한 후에 넓은 주파수 대역으로 확산 시켜 송신하고 수신측에서 동일 PN 부호와의 연산으로 신호를 복원하는 방식으로 선로상에서 임펄스 형상의 노이즈가 포함된 경우 수신측 신호 복원 회로에서 노이즈 성분이 확산되어 전송하고자 하는 신호와는 반대의 처리가 되기 때문에 SN비가 좋아진다.

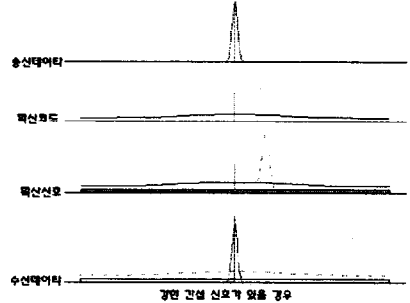


그림 2-5. 대역확산통신방식의 송,수신 및 전송되는 신호의 스펙트럼

그러나 이와 같은 대역 확산 방식을 기반으로 한 전력선 통신 시스템의 가장 큰 문제점은 제한된 대역폭으로 대역 확산 시스템의 잡음 및 간섭에 대한 강신성은 확산 후 데이터의 대역폭과 원래 데이터의 대역폭 사이의 비율인 처리 이득에 의해 결정되며, 전력선과 같이 대역폭이 한정되어 있는 경우 충분한 확산이 불가능해져 일정 기준 이상의 처리 이득을 얻기가 매우 힘들어지므로 잡음 및 간섭에 대하여 효과적으로 대처할 수 없게 된다. 또한 단일 캐리어 방식에 의한 고속 데이터통신을 하려는 경우 실제 전송되는 것은 확산된 신호이므로 원래의 신호가 확산된 만큼의 고속으로 전송되므로 multipath fading 등의 문제가 발생한다.

따라서 이러한 문제점에 대한 해결 방안 가운데 하나로 병렬 대역 확산(parallel spread spectrum) 시스템을 이용하여 동일 신호를 여러 경로로 나누어 전송하여 주파수 diversity를 높이거나 병렬 처리를 하여 각각의 서브 캐리어에 실리는 신호는 상대적으로 낮은 전송 속도를 가질 수 있으므로 multi-path fading의 문제를 피해갈 수 있다. multi-carrier 방법으로는 이통통신 시스템에서 제안된 멀티코드 CDMA(Multi-code CDMA) 방식과 디지털 방송 등에 사용되는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 고려할 수 있다.

3. Multi-Carrier Method

전파는 여러 경로를 거쳐 도달한 파형들이 합성파를 구성하므로 각 경로간 생기는 차이 때문에 신호의 왜곡이 생긴다. 전송 속도가 높아질수록 이러한 multi-path fading의 영향이 커진다.

Multi-path fading에 의한 영향을 감소시키는 방법으로는 single-carrier를 사용할 경우에는 equalizer를 사용하는 방법이 있으나 이는 전송신호가 고속화 될수록 상당히 복잡한 구조가 요구되며, likelihood estimator를 사용하는 방식은 미리 예측되는 신호 몇 가지를 수신단에서 발생시켜 이와 가장 유사한 신호를 수신 신호로 결정하는 방식이며, multi-carrier 방식은 multi-path fading의 영향에 대하여 전송신호를 근본적으로 강인하게 하는 것으로 multi-path fading은 전송속도가 고속이 될수록 영향도 커지므로 이를 방지하기 위해 고속의 신호를 저속의 신호로 분할하여 주파수축상에서 FDM 기술로 다중화해 전체적으로는 원래와 동일한 고속 신호를 만든다. 이와 같은 방식은 수신하는 파형을 근본적으로 multi-path에

대하여 강하게 하는 것으로, 데이터 전송 속도를 그대로 유지하면서 각 sub-carrier에서의 symbol 주기를 sub-carrier의 수만큼 확장시킬 수 있기 때문에 하나의 탭을 가지는 간단한 equalizer로 multi-path에 의한 심각한 frequency selective fading에 잘 대처할 수 있다.

OFDM은 multi-carrier의 기술을 multi-path에 대해 더욱 강하게 만든 것으로 각각의 채널 신호파형은 진 파형의 0이 되는 점에 다음 채널을 배치함으로써 각각의 중심 주파수는 다른 채널로부터의 파워가 0이 되므로, 서로 겹침에도 불구하고 간섭을 일으키지 않도록 한 것으로 그림 3-1과 같은 스펙트럼을 가진다. OFDM의 개념적인 블록도는 그림 3-2와 같다.

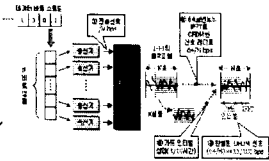
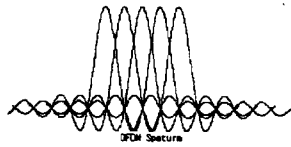


그림 3-1. OFDM의 스펙트럼 그림 3-2. OFDM 송신기

직렬로 들어오는 데이터를 N개의 병렬 비트로 만들고 이를 각각 송신기에 입력으로 넣어 적절한 변조를 하여 얻어진 출력을 IFFT에 넣어 나온 출력중 일부를 guard time 구간에 삽입하여 모든 신호들의 orthogonality를 보장한다.

4. 전력선의 채널 특성

전력선은 전력 전송을 목적으로 제작된 것으로 통신을 위해서는 전력선의 통신 채널로서의 특성에 대한 조사가 필요하다. 여기서는 전력선 통신 모델 환경을 구축하여 실측된 전력선의 통신 채널로서의 특성을 사용하였다.[2]

4.1 전력선의 감쇠특성

전력선의 감쇠특성은 그림 4-1은 무부하 상태에서 측정한 결과이며, 그림 4-2는 부하가 연결된 상태에서 측정된 것이다.

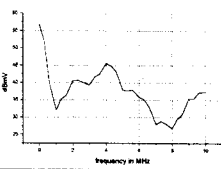
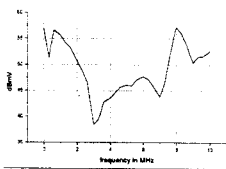


그림 4-1 무부하 감쇠

그림 4-2 부하 감쇠

주파수 감쇠는 그림 4-1과 그림 4-2에서 보듯이 부하 기기의 접속 유무에 따라 크게 차이가 발생하며 이를 충분히 고려하여 전력선 통신에 적용할 변조 방식을 결정해야 한다.

4.2 전력선의 잡음 분포

전력선에도 다른 통신 채널과 마찬가지로 배경잡음과 협대역 잡음, 임펄스 잡음이 존재한다. 배경잡음의 경우 -50dBmV로서 N_0 는 다음과 같다.

$$20 \log \frac{u_{ref}}{1mV} = -50dBmV, u_{ref} = 10^{-\frac{50}{20}} \cdot 1mV = 3.16 \mu V$$

$$N_0 = (u_{ref})^2 = 9.9 \times 10^{(-8)} V^2/Hz$$

협대역 잡음은 그림 4-3과 같이 측정되었으며, 이는 전력 주파수인 60[Hz]와 전자 제품 때문에 생기는 것으로서, 60[Hz]의 고주파에 해당하는 주파수 영역에서 발생하는 잡음이다.

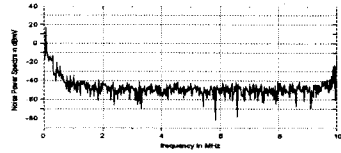


그림 4-3 협대역 잡음

임펄스성 잡음은 일부 전자 제품에서 발생하는 주기적인 것과 스위칭과 같은 것에 의해서 생기는 랜덤(random)한 것으로 나눌 수 있다. 주기적 임펄스 잡음을 발생시키는 대표적인 것은 TV이며, TV는 주기적으로 전원 주파수에 동기하여 임펄스성 잡음을 만들어낸다. 일반적으로 랜덤 임펄스 잡음은 사람이 전자 제품의 전원을 On/Off 하는 행위로 인해서 스파크가 전력선에 유입됨으로 인해서 생기는 것으로서, 불규칙적이며 횡수를 예측할 수 없다.

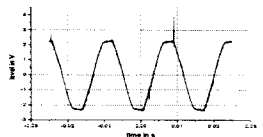
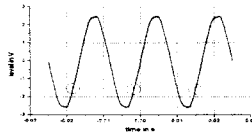


그림 4-4 주기임펄스잡음

그림 4-5 랜덤임펄스잡음

랜덤 임펄스 노이즈의 지속시간은 대부분이 0.1[ms]로 크기는 부하마다 조금씩 다르다.

5. 결 론

전력선 통신을 위해 오래전부터 많은 시도가 있어왔고 최근들어 무선 이동 통신 기술의 발달에 힘입어 전력선에도 무선 통신에 사용하는 기술을 적용하기 시작하였다. 그러나 전력선의 통신 채널로서 무선 환경과는 다른 특성을 보이고 있다. 따라서 전력선의 특성에 적합하도록 기존의 변조 기술 등을 변형하여 적용하여야 할 필요가 있다.

현재까지 제안된 변조 방식중 FCC의 전력선 통신을 위한 주파수 규격을 만족시키는 범위내에서 활용 가능한 방식은 그림 2-1의 chirp 신호를 100kHz~400kHz에서 사용하는 것이 적당하나 이 방식은 고속 데이터 통신보다는 저속 제어 신호를 위한 용도로 적합하다.

대역확산 통신 방식은 상용화를 위해서는 전력선 통신을 위해 허용된 주파수 범위내에서 확산을 시켜야되는 제약으로 충분히 확산되지 아니하여 의도한 것과 같은 협대역 잡음 등의 영향으로부터 강인하게 설계하기는 힘들다.

따라서 각각의 부반송파를 가지고 전체적으로 고속의 통신을 구현하는 OFDM 또는 DMT나 MC-CDMA를 사용하는 것이 유리하며, 부반송파를 몇 개의 그룹으로 나누어 동일한 신호를 전송할 경우 주파수 diversity 효과를 얻을 수 있어 시시각각으로 채널 특성이 변화하는 전력선 통신에는 가장 적합한 방식으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이정훈, 서종완, 이종주, 신명철, 성낙환, "전력선 통신을 위한 채널 특성 분석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 전력계통A권, 558-560, 2000
- [2] ROBERT C. DIXON, "Spread Spectrum System", JOHN WILEY & SONS, INC., 3rd edition, 18-58, 1994
- [3] Van Nee, Richard D.J./ Prasad, "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House, 20-53, 2000