

고속 PLC를 위한 DMT 전송 특성 분석

윤성하* · 김정훈* · 김선효** · 이영철*

*경남대학교 정보통신공학과

**거창 기능대학 전자과

Analysis of DMT Characteristics for High-speed Power-Line Communication

Seong-Ha Yun* · Jeong-Hun Kim* · Seon-Hyo Kim** · Young-Chul Rhee*

*Div. of Information & Comm. Eng., Kyungnam University

**Div. of Electronic Engineering, Keochang Polytechnic college

E-mail : windy0407@hanmail.net , micropt@kyungnam.ac.kr

요 약

본 논문은 고속 전력선 통신을 위한 기법으로 주파수 범위 0~30MHz에서 BER 개선을 목적으로 DMT 방식을 실험하였다. 송신단에서 길쌈 부호화 방법을 사용했고, 수신단에서는 비터비 알고리즘을 이용해서 복호화 하였으며, 프레임 동기를 위해서 cyclic prefix를 사용하였다. 전력선 채널 특성을 고려하여 거리에 따른 채널 모의실험을 통해서, 코헤어런트 신호를 분석한 결과에 의해 BER을 우수하게 전송시키는 변조 방식을 분석함으로써 전력선상에서 DMT 특성을 이론적으로 분석하여 정보 전달 범위의 효과를 높일 수 있는 방안을 제시하였다.

1. 서 론

정보화의 급속한 발달과 인터넷의 보급과 더불어 대용량(High capacity) 및 고속(High speed)정보를 신속하게 전송하고자 하는 요구를 충족시키기 위하여, 가입자에 대한 전송속도와 품질 등, 전송선로에서의 고속 전송 기술이 새로운 과제로 등장하였고, 고속 전송 기술이 발전됨에 따라 전송 매체인 전송선로에서의 정확한 채널 분석이 요구된다. 가정 자동화 및 사무 자동화의 발전에 따라 실내에서의 데이터 통신 사용이 급증함으로 선로의 설치가 필요 없는 전력선 통신이 요구되며 건물 내·외부에 설치된 무수한 콘센트를 통하여 쉽게 접근할 수 있기 때문에, 별도의 배선 공사를 하지 않아도 된다는 장점이 있다[1]. 현대의 정보화 시대는 음성 데이터 서비스를 기본으로 하던 과거와는 달리 유·무선망을 통한 고속의 멀티미디어 서비스를 필수적으로 요구하고 있다. 이에 부응하여 고속 인터넷 접속, 원거리 화상회의, 디지털 텔레비전 방송등의 대용량 데이터를 고속, 실시간으로 전송하기 위한 광대역 전송망의 인프라 구축이 활발히 진행중이다. DMT 방

식은 유선 환경에 사용되는 변조방식으로 무선환경의 OFDM 방식과 더불어 다수 반송파 변조방식(MCM)의 대표적인 예이다. MCM은 FFT를 사용하여 고속으로 구현할 수 있으며, 간단한 등화기를 사용하여 채널의 왜곡을 보상 할 수 있으므로 단일반송파 변조방식(SCM)에 비해 고속 데이터 전송에 유리한 장점을 갖는다. 본 논문은 이러한 DMT 방식을 전력선에 적용하여 채널 특성 및 고속 전력선 모형을 위한 하드웨어적 구조를 제시하고자 한다[2].

II. 전송선로 및 전달 특성 파라미터 분석

대부분의 twisted-pair 전송선로는 주파수가 30MHz까지는 "two-port modeling"이나 "ABCD" 정리로 알려진 방법을 사용해서 전송선로 모델링을 하고 있다. 전송선로는 아래 그림과 같이 R, L, C, G를 가지는 two-port network으로 표현할 수 있다. 그리고 two-port network의 R, L, C, G 값에 의해서 아래와 같은 전송선로의 단위길이당 임피던스와 어드미턴스를 식(2-1)과 식(2-2)와 같이 구할 수 있다[3].

$$Z = R + j\omega L \quad (2-1)$$

$$Y = G + j\omega C \quad (2-2)$$

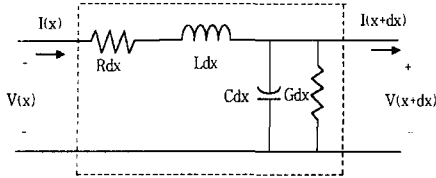


그림 1. Two-port 네트워크

위의 two-port 네트워크를 보면 어떤 point x에서 two-port 네트워크의 전압과 전류의 관계는 미분방정식으로 식(2-3), 식(2-4)와 같이 표현할 수 있다.

$$-\frac{dV}{dx} = (R + j\omega L) \cdot I \quad (2-3)$$

$$-\frac{dI}{dx} = (G + j\omega C) \cdot V \quad (2-4)$$

여기서 주파수는 $\omega = 2\pi f$ 로 주어진다. 위 식을 다음과 같이 이차 미분방정식으로 표현하면, 식(2-5), 식(2-6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{d^2 V}{dx^2} = \gamma^2 \cdot V \quad (2-5)$$

$$\frac{d^2 I}{dx^2} = \gamma^2 \cdot I \quad (2-6)$$

여기서,

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} = \sqrt{Z \cdot Y}$$

는 전파상수이며, α 는 감쇠상수이고, β 는 위상상수이다. 이차 미분방정식은 두 개의 반대 방향 전압/전류 파형으로 식(2-7), 식(2-8)과 같이 표현된다.

$$V(x) = V_0^+ \cdot e^{-\gamma x} + V_0^- \cdot e^{\gamma x} \quad (2-7)$$

$$I(x) = I_0^+ \cdot e^{-\gamma x} + I_0^- \cdot e^{\gamma x} \quad (2-8)$$

위 식에 의해 전송선로의 특성 임피던스는 식(2-9)와 같이 표현된다.

$$Z_0 = \frac{V_0^+}{I_0^+} = -\frac{V_0^-}{I_0^-} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad (2-9)$$

전송선로가 d라는 길이를 가진다면,

$V_L = V_d$, $I_L = I_d$ 이므로, two-port network의 ABCD 파라미터의 값은 식(2-14)와 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\gamma d) & Z_0 \cdot \sinh(\gamma d) \\ Z_0^{-1} \cdot \sinh(\gamma d) & \cosh(\gamma d) \end{bmatrix} \quad (2-10)$$

입력 임피던스와 삽입손실은 다음 식과 같다.

$$Z_I = Z_0 \cdot \frac{Z_L + Z_0 \cdot \tanh(\gamma d)}{Z_0 + Z_L \cdot \tanh(\gamma d)} \quad (2-11)$$

$$T(f) = \frac{\sec h(\gamma d)}{1 + \frac{Z_0}{Z_L} \tanh(\gamma d)} \quad (2-12)$$

적절한 통신 시스템의 연구와 전력선 통신 네트워크에서는 정해진 주파수 범위에서 전달 특성의 근본적인 해석이 필요하다. 전송선로의 길이가 d인 경우의 전달 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H(f) = T(f) \cdot \frac{Z_I}{Z_I + Z_s} \quad (2-13)$$

$$= \frac{Z_0 \sec h(\gamma d)}{Z_s \cdot \left[-\frac{Z_0}{Z_I} + \tanh(\gamma d) \right] + Z_0 \cdot \left[1 + \frac{Z_0}{Z_I} \tanh(\gamma d) \right]}$$

전송선로의 길이가 충분히 길어지면 부하 임피던스의 크기와 관계없이 입력 임피던스는 특성 임피던스와 같게 된다. 또한, 선로의 길이가 충분히 길고 $Z_s = Z_0 = Z_L$ 이면, 전달함수 H(f)와 삽입손실 T(f)는 전파상수 γ 만의 함수가 된다. 그런데 선로의 종단이 임피던스 정합이 되어 있지 않은 경우 반사손실이 발생하며, 특히 종단이 개방되어 있는 경우를 branch line이라 한다. branch line은 특정 주파수 대역에 notch를 유발하며, 전체 성능에 큰 영향을 미치는 요인이 된다[4].

III. DMT 방식의 전력선 모델 설계

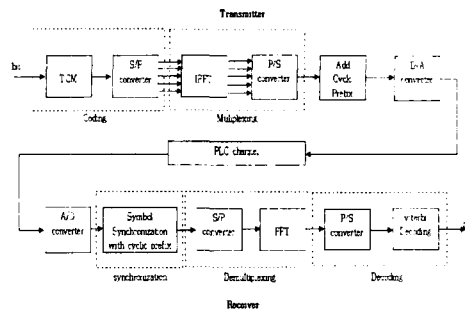


그림 2. DMT 모델 블록 다이어그램

그림 2는 DMT 방식 모델의 블록 다이어그램을 보여주고 있다. DMT 방식의 모델에서 입력 비트열은 M-ray 심볼로 변환되어 다음과 같이 IFFT에 의해 변조된다[5].

$$x_n = \sum_{k=0}^{N_G-1} X_k e^{j2\pi kn/N}, \quad -N_G \leq n \leq N-1 \quad (3-1)$$

여기서, X_k 는 i번째 심볼주기에 k번째 부채널로 전송되는 데이터 심볼을 나타내며 N_G 는 보호구간에 사용된 cyclic prefix(CP)의 샘플수를 나타낸다. T_s 를 실제 유효 데이터가 전송되는 시간이라고 하고, T_G 를 보호구간의 길이라 하면 DMT 심볼 주기 T_{sym} 은 $T_s + T_G$ 가 되며 인접 부반송파간의 간격은 k/T_s 가 된다. 식(3-1)의 X_k 는 변조신호가 실수가 되기 위해서 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$X_k = X_{N-k}^* \quad (3-2)$$

식(3-2)에서 데이터 심볼 X_k 는 각 부채널의 전송용량을 최대한 사용하도록 비트가 할당되고 이것이 해당 심볼로 변환된 것이다. 각 부채널에 할당된 비트는 변조기에 의해 심볼로 변환된다. 변조된 신호는 D/A 변환기를 통해 아날로그 신호로 변환되어 채널로 전송되며 수신단에서는 먼저 수신 신호를 수신단의 샘플링 주파수로 샘플링 한 후 보호구간을 제거하고 FFT를 사용해 신호를 복조한다.

$$Y_m = X_m H_m + N_m, \quad 0 \leq m \leq N-1 \quad (3-3)$$

PLC 채널은 좋지 않은 환경을 가지고 있지만 비교적 짧은 시간 동안에 채널의 변화는 크지 않다. 채널의 정보를 최적으로 사용하기 위하여 평균 SNR 보다 높은 부반송파에 대해서는 전송 효율이 좋은 변조 방식을 사용함으로써 전송 효율을 높이는 ABL(Adaptive Bit Loading) 방법이 제안되었다[6].

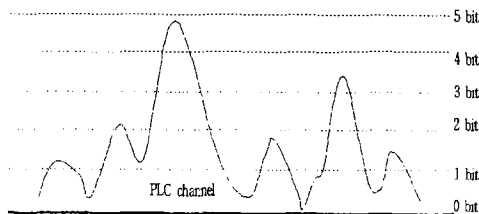


그림3. ABL 알고리즘

그림 3에서 보듯이 추정된 채널의 이득에 따라 특정 단계별로 전송될 비트가 할당된다. 알고리즘은 다변조 방식을 취하기 때문에 변복조기 구성시 다소 복잡하고 또한 송신단에서 비트 할당을 위한 많은 정보를 송신단에 보내주어야 하지만 좋은 BER 성능을 얻을 수 있다. 비트 할당 방법으로써 최적의 비트 할당을 위하여 water-filling 알고리즘이 대표적으로 사용된다. water-filling 알고리즘은 채널 상황이 좋은 부반송파에 많은 정보를 할당시키고, 채널 상황이 좋지 않은 부반송파에서는 적은 량의 정보를 할당시킴으로써 채널에 가질 수 있는 채널 용량의 양만큼을 보내는 방법이다. 사용 가능한 대역에 대한 채널 용량 C는 다음과 같다[7].

$$C = \int_{BW} \log_2 \left(1 + \frac{S(f) |H(f)|^2}{N(f)} \right) df \quad (3-4)$$

여기서, $H(f)$ 와 $N(f)$ 는 채널의 전달 특성과 잡음 전력 스펙트럼을 나타낸다. 따라서, water filling 알고리즘을 이용하여 C가 최대가 되는 $S(f)$ 를 구하여 비트 할당을 위한 정보를 얻어낼 수 있다.

IV. 모의실험 및 분석

본 논문은 주파수 범위 0~30MHz에서 고속 PLC 통신을 위한 DMT 방식에 대하여 모의 실험을 했다. 표 1은 모의실험을 위한 파라미터를 나타낸 것이며, QPSK 방식과 1/2 TCM을 적용했다. 그림 4는 DMT 전송방식에서 변조기법을 QPSK, BPSK, 16PSK를 적용했을 경우 나타난 BER 특성을 비교한 것이다.

표 1. 모의실험을 위한 DMT 파라미터

sub carrier(total)	512
sub carrier(used)	168
sub carrier spacing	58.593 kHz
IFFT size	1024
symbol duration	16 us
Total Frequency	30MHz

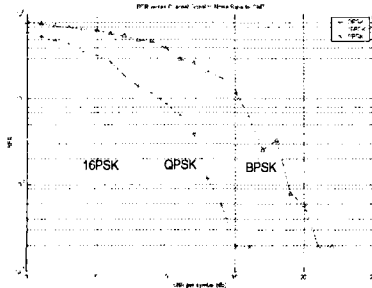


그림 4. 변조방식의 BER 비교

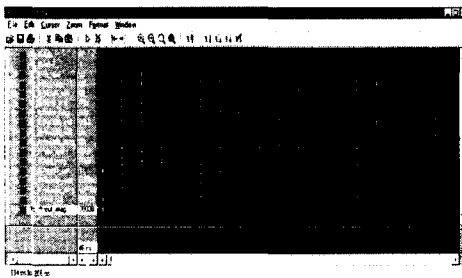


그림 6. FFT 시뮬레이션 파형

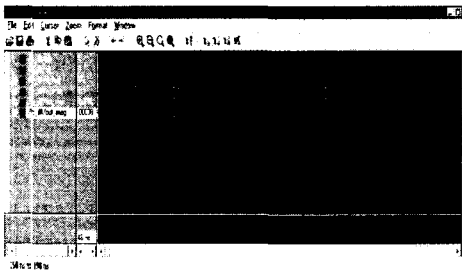


그림 7. IFFT 시뮬레이션 파형

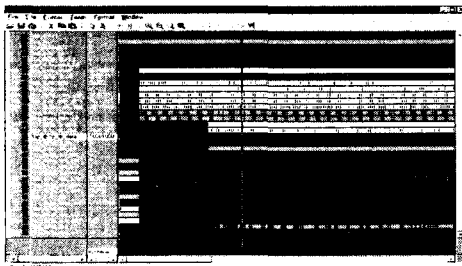


그림 8. 비터비 복호기 시뮬레이션 파형

V. 결론

본 논문은 주파수 범위가 0~30MHz에서 고속 PLC를 위해서 DMT 전송방식을 선택하여 이에 따른 모델링 및 시뮬레이션을 실행하였다. DMT를 적용함으로써 고속 모뎀 설계를 위한 다중 반송파 방식을 채널에 적용하여 PLC 채널에 적합한 방식을 연구하고자 하였으며, 송수신기 구조, FEC, FFT, IFFT, 및 비터비 복호기 구조등을 연구하였다. 설계한 FFT 프로세서는 radix-4 SDC 알고리즘을 사용하였으며, 파이프라인 구조를 이용하여 설계하였다. radix-4구조를 사용함으로써 비터블라이(BF) 사용을 최대화하여 하드웨어 이용률을 높였으며, 차후 하드웨어 설계에 있어서 좀 더 작은 크기를 유지할 수 있다. 설계한 구조는 VHDL 언어를 이용하여 실험을 했고, 차후 연구로 DMT 모뎀 송·수신부를 하드웨어로 구현하고자 하며, 현재 무선데이터 통신 환경에서 많이 사용되고 있는 OFDM과 비교하여 좀 더 나은 PLC 채널 적용을 가질 수 있는 알고리즘을 개발하고자 한다.

참고 문헌

- [1] J. W. Lechleider, "Line analysis for digital subscriber lines" IEEE Commun., May, pp. 25-32, Sept. 1989.
- [2]. 박승철, "ADSL과 인터넷 통신," 대한전자공학회 멀티미디어 연구회 멀티미디어 통신기술 워크샵(xDSL 중심), pp, 343-358, 1999.
- [3] Philipps, H., "Performance measurements of powerline channels at high frequencies", Proceedings of the 1998 International Symposium on Power-Line Communication and its Applications(ISPLCA '98), Tokyo, Japan, p.229-237 March, 1998
- [4] Manfred Zimmermann, Klaus Dostert, "A Multi-Path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range"(ISPLCA ' 2000)
- [5] Holger Philipps, "Development of a statistical Model for Power-line Communication Channels",
- [6] H.Y. Kwon, J.C. Park, and G.I. Shin, "Analysis on Data Transmission Rate of Very High Speed Digital Subscriber Loops," Proc. 1998 Int. Wireless and Telecomm Symposium, Kuala Lumpur, Malaysia, 11-25 May, 1998
- [7] Stein buch K., Rupprecht W, Nachrichtentech. Springer-Verlag, 3. Auflage, Berlin 1982