

전력선 통신 환경에서의 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 잡음제거에 관한 연구

이흥희, 김관수

울산대학교 전기전자정보시스템 공학부

A study of noise reduction for reliable data transmission in PLC

Hong Hee Lee, Gwan Su Kim

School of Electrical Eng & Information System, University of Ulsan

ABSTRACT

본 논문에서는 전력전달 매체인 전력선을 이용하여 신뢰성있는 통신환경을 구축하기 위해 필요한 전력선 통신 시스템에서의 임피던스, 잡음, 특성 등을 고찰했다. 이를 바탕으로 기존 네트워크에 사용되어온 DS-SS(Direct sequence-Spread Spectrum) 기법을 전력선 통신에 적용하여 전력선통신 시스템을 구성하고 다중 액세스 기법인 CSMA를 적용하여 시스템 효율에 대한 성능 평가를 하였다.

1. 서 론

PLC(Power Line Communication)는 별도의 시설없이 통신선로를 확보할 수 있어 앞으로 막대한 규모의 시장을 형성할 것으로 예상하고 있다. 네트워크의 발전은 산업 전반에서 뿐만 아니라 점차 가정으로까지 각종 사회 시스템과의 결합을 이루게 되었다. 하지만, 새로운 네트워크 망을 구축하기 위해서는 비용과 설치방법의 복잡성을 가진다. 이러한 이유로 기존에 설치 되어있는 전력선을 이용하여 별도의 배선이 필요 없는 네트워크를 구성하기 위하여 전력선 통신에 많은 연구가 진행되어 왔었다.

전력선을 통신 채널로 사용하기 위해서는 몇 가지 기술적인 문제들이 존재하는데, 해결해야 할 과제로는 높은 부하와 간섭 현상, 잡음, 가변하는 임피던스와 신호 감쇄 등이 있지만 가장 큰 문제점으로는 노이즈, 신호 감쇄, 신호 왜곡 등이 있다. 전송 속도와 전송 데이터의 QoS를 향상하기 위한 기술 개발로 현재는 10Mbps 이상의 전송 속도를 지원할 수 있는 수준까지 개발됐다.

PLC 기술은 크게 Access기술과 Home Automation 기술로 나뉜다. 이 가운데 Access기술은 22Kv급 이상의 고압 전선을 이용한 고전압 수준과 22Kv급의 고압전선을 이용한 중간 전압 수준

일반 가정용 220V와 110V급의 저전압 수준의 기술로 구분할 수 있다.

고압선을 이용한 기술은 ETRI에서 개발을 추진하고 있으며, 중전압과 저전압 기술 개발은 국내 PLC 업체들을 통해 이미 진행중이다. 특히 저전압 수준의 Access기술 분야가 업체들의 많은 관심을 끌고 있다.

일반적으로 데이터 전송 속도에 따라서는 저속 60bps~10Kbps, 중속 10Kbps~1Mbps, 고속 1Mbps~10Mbps로 구분되며, 이에 따라 중고속은 데이터 통신용으로, 저속은 제어용으로 통신 목적에 따라 나눌 수 있다^[1].

고속 PLC기술은 라스트 마일(Last-mile) 솔루션을 통해 기존 네트워크를 통한 인터넷 서비스를 구축할 수 없는 곳에 대한 대안을 제시해 준다.

또한, 저속 PLC기술은 오래 전부터 연구가 진행되어 왔는데 주로 Home Automation분야를 중심으로 관련 기술이 개발되어 왔다. 최초의 전력선 통신의 역사는 피코 일렉트로닉스사가 1978년에 'X10'이란 전력선 통신 프로토콜을 발표하면서 부터이다. 전력선을 이용하여 다양한 가전기기들을 Access하고 제어하기 위한 통신 프로토콜 중심으로 PLC 기술이 개발되기 시작했다. 현재까지 논의되고 있는 프로토콜로는 'X10', 세계적으로 가장 많은 솔루션을 보유하고 있는 'LonWorks', 국내 PLC업체인 플래넷이 개발한 'Z256', EIA(Electronic Industries Association)가 1992년에 발표한 'CE-BUS' 와 인텔로직스의 'DPL', 그리고, 일본에서 발표한 'ECHONET' 등이 있다.

이 가운데 X10은 60bps정도의 전송 속도를 내므로 단말 기기들을 제어하는데 쓰인다. 한편 9.6Kbps의 양방향 전송 속도를 지원하는 CE-BUS 프로토콜은 플러그 앤 플레이 기능을 지원한다. 국내 기술로 개발된 iZ256의 경우 9.6Kbps의 전송 속도를 가지고 Chirped Spread Spectrum 변조 방식

으로 최대 65,536개의 기기를 중앙에서 제어할 수 있고 CSMA/CD를 지원한다.

전력선을 고속의 데이터 통신 매체로 사용하기 위해서는 변복조 기법 및 MAC(Medium Access Control)방식이 필요하다. 본 논문에서는 복수 노드들을 Access 하기 위해서 DS-SS(Direct Sequence-Spread Spectrum)기법과 CSMA Access 기법을 전력선 통신 시스템에 적용하고자 한다.

2. 전력선의 통신 환경

2.1 잡음 특성

전력선에 존재하는 잡음은 배경 잡음과 임펄스 잡음이 존재한다.

배경 잡음의 PSD(Power Spectral Density)는 다양한 노이즈 원의 변동에 의해 주파수가 영향을 받는데, 주파수가 증가하게 되면 노이즈는 감소한다. 이와 같은 배경 잡음을 다음과 같이 모델링 할 수 있다^[2].

$$S_n(f) = a + b |f|^c \text{ dBm/Hz} \quad (1)$$

a와 b, c는 상수이고, f는 주파수이다.

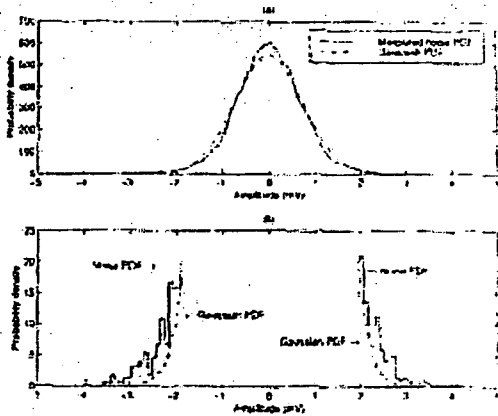


그림 1 (a)probability distribution of background noise compared with a Gaussian signal (b)tails of same distribution

그림 1은 배경잡음을 Gaussian 분포와 비교한 것이다. 배경 잡음 분포가 Gaussian 분포와 비슷하게 보일지라도 배경 잡음 분포는 길게 꼬리 모양을 그리며 분포한다.

중요한 임펄스 노이즈 원은 전력선상에 연결되는 전기기기들로 인한 것이다. 그 중에서도 모터와 전력용 스위칭 소자가 주요한 임펄스 노이즈 발생원이다. 임펄스 노이즈의 특징으로 크기, 폭, 내부 도 착간 시간을 들 수 있다.

2.2 채널 특성

전력선의 채널은 Tree나 Branch구조로 매우 복잡하다. 특히 신호의 손실은 부하의 변동에 의해 많은 영향을 받는다. 특히, 전력선의 채널 특성은 주변 환경이나 시간에 많은 영향을 받기 때문에 수식적으로 모델링하기 어렵기 때문에 실제 측정 데이터를 사용한다.

일반적으로 사용되는 전력선의 특성 임피던스를 구하기 위해서 다음과 같은 등가 회로를 한다^[3].

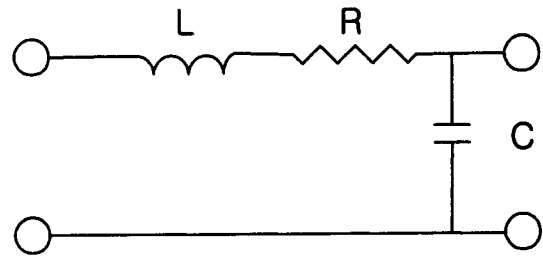


그림 2 Equivalent circuit of power line

이 등가회로를 통한 전력선의 특성 임피던스는 $Z_0 = 93\Omega$ 이 된다. 그러나 실제 시스템에서 전력선의 임피던스를 구하기 위해서는 특성 임피던스 뿐만 아니라 전력선에 연결되어 있는 노드들의 임피던스도 또한 알고 있어야 한다. 전력선 임피던스는 이러한 노드들의 임피던스를 포함하기 때문이다.

3. CSMA(Carrier Sense Multiple Access)

프로토콜은 매체를 공유하기 위한 제어가 필요한데 MAC(Medium Access Control)프로토콜이 이 매체 제어기능을 제공한다. 전송 매체에 언제, 어떻게 데이터를 보낼 것인가(프레임 전송) 또 충돌을 어떻게 피할 것인가 (Token 방식) 아니면 충돌을 용인하는 방법을 쓸 것인가(CSMA/CD)등을 관리하는 역할을 한다. 즉, CSMA/CD로 할 것이냐, 토큰 버스로 할 것이냐, 토큰 링의 방법을 쓸 것이냐를 정의한다.

MAC프로토콜은 크게 3가지로 분류할 수 있다. Random MAC, Distributed MAC, Centralized MAC이 있다. Random MAC은 전송하기 위해 별도의 허가가 필요하지 않고 언제든지, 누구든지 누군가 사용하지 않을 때 전송 가능하다. Distributed MAC의 분산관리 방식에는 Token Passing 방식과 CSMA/CA 방식이 있다. 분산 관리란 네트워크에 접속된 모든 시스템들이 전송매체에 접근하는 것을 관리하기 위해 분산된 알고리즘을 구현하기 위해 참여한다. Centralized MAC은 중앙 매체 제어 방

식으로 하나의 네트워크 장치에서 전체 시스템을 제어하는 방식이다. Polling, TDMA, FDMA, CDMA 방식 등이 사용된다.

본 논문에서 제안하고자 하는 것은 CSMA/CD 방식으로 CS, MA, CD 단계로 나뉘어지며 CS는 전송하기 전 누군가 사용하고 있는지 확인하는 절차이며 MA는 누구든지 사용이 가능하다는 의미이며 CD는 전송 후 충돌을 검출, 통제하는 단계이다. 공유 매체를 사용해서 다수의 Station들이 서로 송수신하기 위해서는 Station들을 위한 공정한 제어 메커니즘이 필요하다. CSMA/CD 방식은 기본적으로 3가지의 기능을 수행한다. 첫 번째로는 포맷된 데이터 혹은 프레임의 송수신, 두 번째는 상위층으로 수신된 데이터를 전달하기 전에 유효한 주소의 확인 및 수신된 프레임을 해석한다. 마지막으로 수신된 프레임 내의 에러를 확인한다.

CSMA/CD의 기본 원리는 다음과 같다.

- (i) Station A가 Station D로 전송하고자 데이터를 내부에서 요청 받는다.
- (ii) Station A 내부에서 프레임을 구성한다.
- (iii) 전송매체를 누군가 사용하고 있지 않는지 확인한다. (CA: Carrier Sense)
- (iv) 아무도 사용하지 않을 경우 프레임을 전송하며, 전송도중 전송신호를 수신한다. (MA: Multiple Access)
- (v) Station C가 Station B에게 상기와 같은 과정을 거쳐 프레임을 전송한다.
- (vi) 현재의 상태에서는 Station C와 Station B 사이에서 충돌이 발생한다.
- (vii) 모든 Station 들은 Back-off 알고리즘을 수행한다.
- (viii) 모든 Station 들은 전송매체의 사용을 위해 자유 상태가 된다.

CS(Carrier Sense), CD(Collision Detection)를 고찰하기 위해 다음과 같은 가정을 둔다. 두 개의 데이터가 동시에 도착하였을 경우

$$D_i = D_x + D_y \quad (2)$$

로 나타내고, 송신하고자 하는 정보 데이터는 각각 $m-1$ 로 나타낸다.

$$D_x = \sum_{i=1}^n X_i \quad (3)$$

$$D_y = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (4)$$

$$D_i = \left[\sum_{i=1}^n X_i + \sum_{i=1}^n Y_i \right] \\ = [(X+Y)m-1, (X+Y)m] \dots \\ [(X+Y)n, (X+Y)n-1] \quad (5)$$

여기서 $D_x \neq D_y$, 이면 필스열 X_i 와 X_j 의

Exclusive or는 항상 '0'이 된다.

Multiple access 네트워크의 효율은 Terminal이나 Sub-Station에서 매체나 채널을 모니터링 할 수 있다면 향상시킬 수 있다. 이러한 기술 가운데 하나인 CSMA를 CD가 있을 경우와 없을 경우에 대해 알아본다.

3.1 CD가 없을 경우의 CSMA

Terminal에 도착하는 새로운 패킷은 도착율이 λ 이고, Poisson 분포를 가진다고 가정한다. 이때, β 를 최대 전송지연으로 두고, 평균 패킷 전송 시간은 β 의 정수 배이고, Time-slot을 가진 채널은 크기가 β 이다. n 번째 Idle 슬롯을 S_n , 이 슬롯에서 Backlog된 패킷의 수를 T_n 이라고 했을 때, $T_n = \beta_n$ 이면 패킷이 전송되지 않은 상태이고, $T_n = \beta_n + 1$ 이면 적어도 하나의 패킷이 전송되었다는 것을 뜻한다.

$$P(T_n = \beta | N_n = m) = e^{-\lambda\beta} Q_r(m, 0) \quad (6)$$

$$P(T_n = 1 + \beta | N_n = m) = 1 - e^{-\lambda\beta} Q_r(m, 0) \quad (7)$$

새로운 패킷이 구간 $[S_{n-1}, S_n]$ 에 도착할 평균 값은

$$E(\text{num of arrival} [S_{n-1}, S_n] | N_{n-1} = m) \\ = \lambda\beta + \lambda(1 - e^{-\lambda\beta} Q_r(m, 0)) \quad (8)$$

또한 같은 구간에서 패킷이 성공적으로 도착할 확률은

$$P(\text{successful transmission in} [S_{n-1}, S_n] | N_n = m) \\ = (\lambda\beta + \frac{m p_r}{1 - p_r} e^{-\lambda\beta} (1 - p_r)^m) \\ \approx g(m) e^{-g(m)} \quad (\text{for } p_r \ll 1) \quad (9)$$

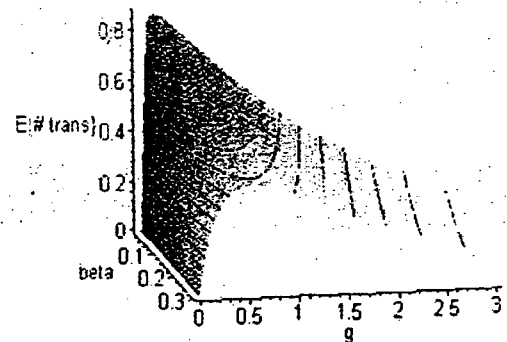


그림 3 Expected number of packet transmission with CSMA

3.2 CD가 있을 경우의 CSMA

CD(Collision Detection)을 가짐으로써 얻을 수 있는 이점은 충돌 상태에서 공유된 채널에서 Delay 시간을 줄일 수 있다는 것이다. 즉, CD가 없는 CSMA에서 충돌이 발생했을 경우 노드는 아무런 일도 못하고 모든 패킷의 주기동안 채널을 사용하면서 시간을 허비한다.

이 시스템을 분석하기 위해 한번 충돌이 발생했다고 가정한다. 충돌 상태를 감지한 노드는 곧 패킷전송을 중지한다. 그 결과 idle 슬롯에서 패킷이 출발한 후 충돌이 발생한다면 $T_n = 2\beta$ 가 된다.

새로운 패킷의 도착수는

$$E[\text{num of arrival in}[S_{n-1}, S_n]|N_{n-1} = m] \approx \lambda[\beta + g(m)e^{-g(m)} + \beta(1 - (1 + g(m))e^{-g(m)})] \quad (10)$$

패킷이 성공적으로 도착할 확률은

$$P(\text{succ trans}) = \lambda\beta e^{-\lambda\beta}(1 - p_r)^m + e^{-\lambda\beta}mp_r(1 - p_r)^{m-1} \approx g(m)e^{-g(m)} \quad (11)$$

이 된다.

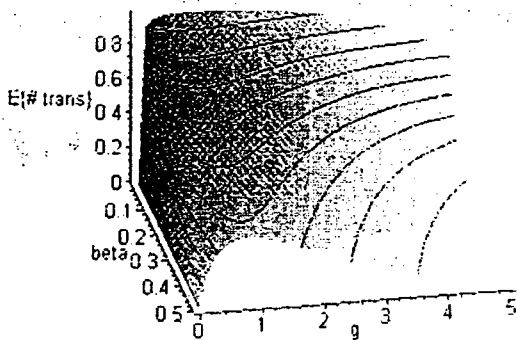


그림 4 Expected number of packet transmission with CSMA/CD

지금까지 고찰에서 CSMA보다는 CSMA/CD 시스템에서 데이터 전송 효율이 좋다. 그러나, 공통적으로 채널의 대역폭이 증가하게 되면 β 값이 감소하게 되고 CSMA시스템의 효율에 관한 성능은 CD의 유무에 상관없이 떨어지게 된다.

4. 결 론

본 논문의 서론 부분에서 전력선 통신 환경의 중요한 두 가지 요소인 채널 특성과 잡음 특성을 알아보고 전력선을 사용해 복수 노드를 액세스 하기 위해 기존의 CSMA기법을 적용하여 CD 유무에 따른 시스템의 효율에 관해 고찰해 보았다. CD를 사용함으로써 시스템은 충돌 발생시 빨리 idle상태로부터 빠져 나오기 때문에 효율이 증가한다.

그러나 전력선 통신 시스템에서는 수신신호와 잡음 정도의 잦은 변동으로 인해 잡음신호를 다른 Terminal이 전송중인 것으로 오인 할 수 있다. 따라서 전력선 통신의 경우 CSMA/CD의 구현에 있어서는 제약이 따른다. 향후 과제로는 CSMA/CD 액세스 프로토콜에 AMP(Arbitration Message Priority)방식을 적용하여 구현에 따르는 문제점을 해결하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 한국 전기 연구소, "고속 전력선 통신망 개발, <http://plc.keri.re.kr/>"
- [2] T.Esmailian, "A Discrete Multitone Power Line Communications System." IEEE, Vol pp. 2953~2956,2000.
- [3] 한경희, 이영철, "안전관리를 위한 전력선반송 FSK 통신 시스템", Thesis collection,경남대, Vol. 11, 1993. pp. 177~183.
- [4] Gen Marubayashi, Shinichi Tachikawa"Spread Spectrum Transmission on Residential Power Line", IEEE.
- [5] Masaoki Tanaka " High Frequency noise power spectrum, Impedance and Transmission Loss of Power Line In Japan On IntraBuilding Power Line Communications", IEEE, 1988
- [6] System View By ELANIX "A Direct Sequence Spread Spectrum(DSSS) system with a Transmitted Reference", Application Note
- [7] 김범규, 최성환,권호열 " 500kbps급 디지털 통신 시스템의 모델링과 성능분석", 산업기술연구소 논문집, 1998. 431~437
- [8] Bart F Rice "A Multiple-Sequence Spread Spectrum System for Powerline Communications", IEEE, pp. 809~815 1996.