

전력선 통신 시스템의 구내 네트워크 데이터 처리량 연구

장호덕*

Study on Network Throughput of Power Line Communication System in In-Building Network

Ho-Deok Jang*

요약 본 논문에서는 전력선 통신 (PLC: Power Line Communication) 시스템의 네트워크 데이터 처리량 (throughput)을 구내 (In-building) 환경에서 연구하였다. 전력선 채널은 주파수 선택적 페이딩 주파수 응답을 가지므로 감쇠 및 잡음의 영향을 최소화하기 위해서 adaptive bit loading 방식을 적용한 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조 방식을 사용하였다. 구내 네트워크의 게이트웨이/CPE (Customer Premise Equipment) 전력선 통신 모듈 사이의 전력선 통신 구간에서 처리할 수 있는 최대 데이터 처리량을 측정하기 위해 iperf 네트워크 성능 측정 툴을 이용하였고, TCP (Transmission Control Protocol) 윈도우 사이즈별 throughput을 분석하였다.

Abstract This paper investigates the network throughput of PLC (Power Line Communication) system in the in-building network. The OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) modulation format and adaptive bit loading algorithm is used to minimize the effect of signal loss and noise on transmission performance in the power line channel characterized by frequency selective fading. The network throughput of the PLC system which consists of gateway and CPE (Customer Premise Equipment) PLC modem in the in-building network is measured by network performance measurement tool, iperf and analyzed according to the TCP (Transmission Control Protocol) window size.

Key Words : Adaptive Bit Loading, BPL, Frequency Selective Fading, OFDM, PLC

1. 서론

전력선 통신은 기존 네트워크의 사각지대에 인터넷 서비스를 제공할 수 있는 라스트 마일 솔루션으로 모든 가구에 보급되어 있는 전력선을 매체로 통신을 하는 방식이다. 초고속 인터넷 사업을 통해 아파트 단지를 중심으로 광케이블을 이용한 FTTH (Fiber to the Home), 광케이블과 동축 케이블을 이용한 HFC (Hybrid Fiber Coaxial) 망이 보편화 되었지만, 초고속 인터넷 회선이 설치되어 있지 않은 구간이 존재한다. 이런 구간에서는 기 포설된 전력선을 통해 네트워

크에 접속할 수 있어서 망 포설 비용을 절감할 수 있고, 범용성을 제공할 수 있다. 최근 전송속도와 신뢰성 측면에서의 한계를 극복한 고속 전력선 모듈이 상용화 되었고, AMI (Advanced Metering Infrastructure) 스마트 원격검침에서 가입자망이나 홈 자동화, IoT 서비스를 위한 홈네트워크 분야까지 응용범위가 확대되고 있다 ^{[1],[2],[3]}. 전력선 통신은 크게 2KV의 고압 송전망을 이용하는 방식과 110V/220V 급의 일반 수용가 전력망을 사용하는 방식으로 구분된다. HomePlug AV2 표준은 2Gbps까지 지원하지만, 노이즈 및 서지

This paper was supported by research fund of Dongyang Mirae University in 2020.

*Department of Information & Communication Engineering, Dongyang Mirae University

Received January 19, 2021

Revised January 25, 2021

Accepted February 07, 2021

프로텍터 등이 속도 저하의 요인으로 작용하고 있다 [2],[3].

주택 내 통신의 경우, 인터넷은 ISP (Internet Service Provider)로부터 공급받고 주택 내 통신 회선 연결은 전력선 통신으로 하는 방식이다. 주택 내의 단거리라면 통신 속도도 충분히 나올 수 있고, 추가로 배선 작업을 하지 않아도 방과 방 사이의 통신을 할 수 있게 된다. 본 논문에서는 주택 내 통신을 포함한 구내 네트워크 환경에서 전력선의 감쇠와 유입되는 잡음이 전송 특성에 미치는 영향과 전력선 구간에서 제공할 수 있는 최대 데이터 처리량 (throughput)을 측정하기 위해서 iperf를 이용하여 윈도우 사이즈를 32kbytes에서 1024kbytes로 증가시켜 가면서 데이터 처리량을 측정하였다.

2. 전력선 통신 시스템 구성

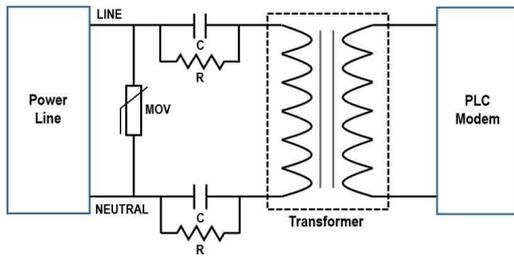


그림 1. PLC 모뎀 구성도
Fig. 1. Schematic diagram of PLC modem

그림 1의 전력선 통신을 위한 모뎀은 60Hz의 교류 전력과 수십 kHz ~ 수십 MHz의 통신 신호를 합성하거나 분해하기 위해서 커플러를 사용한다. 커플러는 변압기 (transformer), 커패시터, 브리더 (bleeder) 저항 및 고전압 배리스터 MOV (Metal Oxide Varistor)로 구성된다. 변압기는 통신 신호를 전력선 인터페이스부에서 모뎀으로 또는 모뎀에서 전력선 인터페이스부로 커플링 한다. 커패시터는 50~60Hz의 교류 전력이 변압기를 통해서 모뎀으로 커플링 되는 것을 방지하며, 통신 신호를 커플링 한다. 브리더 저항은 커패시터에 축적된 전기에너지를 방전시키는 역할을 한다. MOV는 전력선 인터페이스부에서 들어오는 통신 신호가 커패

시터의 항복 (breakdown) 전압을 초과하여 변압기를 손상시키는 과도 현상을 방지하게 된다.

전력선 통신 모뎀은 신호 변조를 위해서 2~32MHz 주파수 대역에서 OFDM 변조방식을 사용하였다. 전력선은 주파수 선택적 페이딩 주파수 응답을 가지는 통신 채널이며 [1],[4],[5], 특정 주파수에서 노치 (notch)를 가지는 전달함수로 나타낼 수 있다. 전력선의 채널은 송신기와 수신기 사이의 전력선 배선, 다양한 전자제품의 사용에 따라서 시간과 주파수에 의존적인 특성을 가진다. 일반적으로 옥내에서 측정된 전달함수는 몇 개의 깊은 협대역 노치를 보여 주며 [1],[4],[5], 이러한 감쇠 및 잡음의 영향을 최소화하기 위해서 adaptive bit loading [6],[7] 방식이 적용된다. 따라서 본 논문에서도 adaptive bit loading 방식을 적용하였고, 부반송파의 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 레벨에 따라서 1536개의 부반송파별로 최대 1024 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 까지 변조 차수를 다르게 적용하였다. 전력선 통신 모뎀의 물리계층 전송속도는 식 1에서와 같이 주기적 전치부호 (cyclic prefix) 주기 (T_{CP}), OFDM 심볼 주기 (T_{OFDM}), BPC (Bits per Carrier)의 합으로 계산할 수 있다. 부반송파 총 개수 (N)는 1536개이며, 모두 1024 QAM으로 변조하는 경우 부반송파별 10 비트를 전송할 수 있어서 물리계층 전송속도 최대값은 대략 200Mbps 이다.

$$\frac{\sum_{i=1}^N BPC_i}{T_{CP} + T_{OFDM}} \quad (1)$$

그림 2는 전력선 통신을 이용한 구내 네트워크 구축 방안을 보여 준다. 전력선 통신의 게이트웨이 역할을 하는 PLC 모뎀은 10/100Base-T 랜 (LAN: Local Area Network) 인터페이스를 통하여 ISP와 연결되며, 구내 네트워크에서 CPE (Customer Premise Equipment) 역할을 하는 PLC 모뎀과 전력선으로 통신을 하게 된다. 구내 전력선 구간은 3m 길이의 멀티탭 3개와 일반적인 가전제품인 TV, 냉장고, 세탁기, 에어컨, 헤어드라이어를 연결하여 구성하였다. CPE 모뎀의 10/100Base-T 랜 인터페이스, IEEE

802.11b/g/n 무선랜 (WLAN) 인터페이스는 PC, 태블릿 등과 연결될 수 있다.

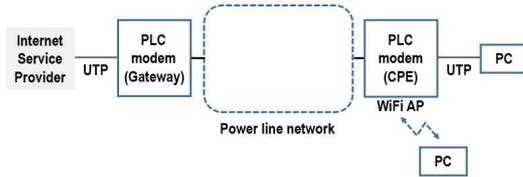


그림 2. 전력선 통신을 이용한 구내 네트워크
Fig. 2. In-building network diagram using power line communication

3. 네트워크 throughput 실험 및 분석

구내 네트워크의 전력선 통신 구간에서 전송할 수 있는 최대 데이터 처리량을 측정하기 위해서 iperf 네트워크 성능 측정 툴을 이용하였다. 게이트웨이 PLC 모뎀은 그림 2에서와 같이 ISP와 연결되는 업링크 포트를 가지는 유무선 공유기의 10/100Base-T 랜 포트에 연결되며, 전력선 구간의 데이터 처리량을 측정하기 위한 트래픽 전송 서버 역할을 하는 PC는 유무선 공유기의 다른 랜 포트에 연결된다. 트래픽 전송 클라이언트 역할을 하는 PC는 CPE PLC 모뎀의 10/100Base-T 랜 포트 또는 IEEE 802.11b/g/n 무선랜 인터페이스와 연결된다. 데이터 처리량에 미치는 전력선 감쇠의 영향을 분석하기 위해 게이트웨이와 CPE PLC 모뎀 사이의 전력선 길이는 3m, 6m, 9m로 하였으며, TCP 윈도우 사이즈별 데이터 처리량을 측정하였다.

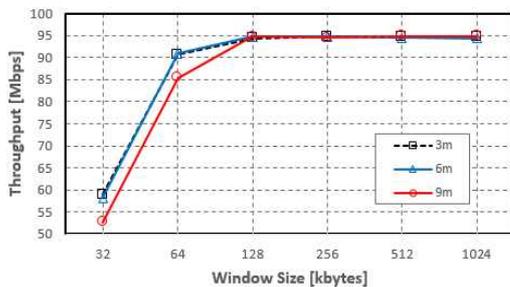


그림 3. CPE PLC 모뎀의 랜 인터페이스 데이터 처리량
Fig. 3. LAN interface throughput of CPE PLC modem

그림 3은 CPE 전력선 모뎀의 랜 인터페이스 데이터 처리량이다. 전력선의 길이가 3m인 경우, 윈도우 사이즈가 32kbytes 일 때 데이터 처리량은 평균 58.9Mbps이다. 윈도우 사이즈가 64kbytes로 증가하면 데이터 처리량이 90.7Mbps로 증가하며, 128kbytes에서는 94.4Mbps로 증가한다. 256kbytes 이상에서는 데이터 처리량이 증가하지 않고 수렴하게 된다. 전력선의 길이가 6m인 경우, 3m에서 측정 한 데이터 처리량과 거의 동일하여 전력선 손실의 영향이 크지 않다는 것을 알 수 있다. 그러나 전력선의 길이가 9m로 증가하면 윈도우 사이즈가 32kbytes 일 때 데이터 처리량이 52.7Mbps로 6.2Mbps 감소하며, 64kbytes에서는 85.4Mbps로 5.3Mbps 감소하게 된다. 128kbytes 이상에서는 데이터 처리량 감소가 발생하지 않는다. 따라서 윈도우 사이즈를 128kbytes 이상으로 설정하면 9m까지는 전력선 손실이 데이터 처리량에 미치는 영향이 크지 않다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 트래픽 전송 클라이언트 PC를 CPE 전력선 모뎀의 무선랜 인터페이스에 연결하여 측정 한 데이터 처리량이다. 전력선의 길이는 3m로 하였고, 윈도우 사이즈가 32kbytes일 때 데이터 처리량은 27.4Mbps이며, 128kbytes에서는 54.1Mbps로 선형적으로 증가한다. 128kbytes 이상에서는 데이터 처리량이 선형적으로 증가하지 않고, 1024kbytes에서 59.2Mbps로 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

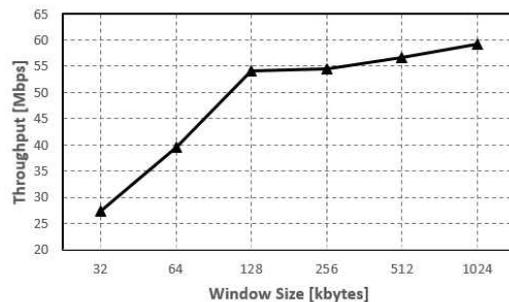


그림 4. CPE PLC 모뎀의 무선랜 인터페이스 데이터 처리량
Fig. 4. WLAN interface throughput of CPE PLC modem

그림 2의 구내 네트워크에서 CPE PLC 모뎀 랜 인터페이스의 시간에 따른 데이터 처리량 변화는 그림 5와 같다. 전력선의 길이는 3m 이며, 윈도우 사이즈는 최대 데이터 처리량을 제공하는 1024kbytes 이다. 2초 간격으로 100초 동안 측정된 결과, 표준 편차 0.51Mbps, 평균 94.8Mbps의 일정한 데이터 처리량을 제공하는 것을 확인할 수 있다. CPE PLC 모뎀 무선랜 인터페이스의 시간에 따른 데이터 처리량 변화는 그림 6과 같다. 표준 편차 4.34Mbps, 평균 59.2Mbps의 데이터 처리량을 제공하며, 채널 간섭 및 다중 경로 페이딩으로 인해 데이터 처리량의 변화가 랜 인터페이스와 비교해서 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

전력선 통신은 기존 네트워크의 사각지대에 인터넷 서비스를 제공할 수 있고, 기 포설된 전력선을 통해 네트워크에 접속할 수 있어서 망 포설 비용을 절감할 수 있는 라스트 마일 솔루션이다. 그러나 전력선에서 발생하는 감쇠와 구내 네트워크 환경에서

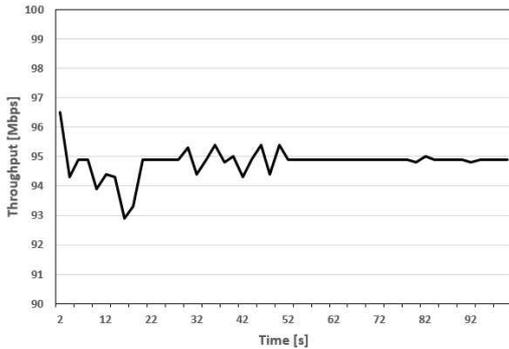


그림 5. CPE PLC 모뎀의 랜 인터페이스 데이터 처리량 변화 (L_{power line}: 3m, TCP window size: 1024kbytes)
Fig. 5. LAN interface throughput change of CPE PLC modem (L_{power line}: 3m, TCP window size: 1024kbytes)

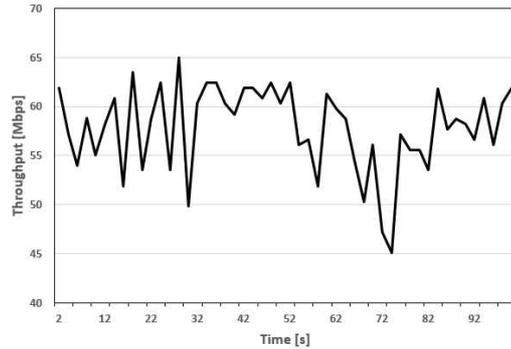


그림 6. CPE PLC 모뎀의 무선랜 인터페이스 데이터 처리량 변화 (L_{power line}: 3m, TCP window size: 1024kbytes)
Fig. 6. WLAN interface throughput change of CPE PLC modem (L_{power line}: 3m, TCP window size: 1024kbytes)

유입되는 잡음의 영향으로 주파수 선택적 페이딩 주파수 응답을 가지며, 이를 해결하기 위해 adaptive bit loading 방식이 사용되는 통신 채널이다.

본 논문에서는 adaptive bit loading 방식을 적용한 OFDM 변조방식을 사용하여 구내 네트워크 환경에서 전력선 통신 시스템의 데이터 처리량을 측정하였다. 전력선의 길이 3m, 6m, 9m 에서 TCP 윈도우 사이즈 별 데이터 처리량을 측정된 결과, 6m까지는 전력선 손실의 영향이 없으며, 9m에서는 TCP 윈도우 사이즈를 128kbytes 이상으로 설정하면 전력선 손실이 데이터 처리량에 미치는 영향이 없다는 것을 알 수 있다. 또한, 최대 데이터 처리량을 제공하는 1024kbytes의 윈도우 사이즈에서 시간에 따른 네트워크 데이터 처리량 변화를 확인한 결과, 표준 편차 0.51Mbps, 평균 94.8Mbps의 일정한 데이터 처리량을 제공하는 것을 확인할 수 있다.

REFERENCES

[1] Kwanho Kim, Powerline Communication, no. 95, TTA Journal, 2004.
[2] M. S. Yousuf and M. El-Shafei, "Power Line Communications: An Overview - Part I," 2007 Innovations in Information Technologies (IIT), pp. 218-222, Dubai,

Dubai, Nov. 2007.

[3] A. A. Zhilenkov, D. D. Gilyazov, I. I. Matveev and Y. V. Krishtal, "Power line communication technologies in automated control systems," 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), pp. 246-249, St. Petersburg, Russia, Feb. 2017.

[4] Rhee Young Chul, "Analysis of Channel Modeling and High Speed Data Transmission Channels for Broadband Power-Line Communication," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, vol. 11, no. 10, pp. 1821-1827, Oct. 2007.

[5] Ducpyo Hong, Jinmok Lee, Soocheol Kim, Jaeho Choi, and Hyun-Mun Hong "Channel Analysis of inside PLC," in the Proceeding of Power Electronics Conference, pp. 456-458, Jeju Island, Korea, June 2006.

[6] S. Morosi, D. Marabissi, Enrico Del Re, R. Fantacci, N. Del Santo, "A Rate Adaptive Bit-Loading Algorithm for In-Building Power-Line Communications Based on DMT-Modulated Systems," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, no. 4, pp. 1892-1897, Nov. 2006.

[7] Lucas Giroto de Oliveira, Guilherme R. Colen, A. J. Han Vinck, and Moises V. Ribeiro, "Resource Allocation in HS-OFDM-based PLC Systems: A Tutorial," Journal of Communication and Information Systems, vol. 33, no. 1, pp. 308-321, Oct. 2018.

저자약력

장 호 덕(Ho-Deok Jang)

[정회원]



- 2002년 2월: 고려대학교 전파공학과 전파공학 (공학 석사)
- 2006년 8월: 고려대학교 전파공학과 초고주파및광파공학 (공학 박사)
- 2006년 9월 ~ 2014년 9월: LS 전선
- 2015년 4월 ~ 2016년 2월: 한국디지털케이블연구원
- 2016년 3월 ~ 현재: 동양미래대학교 정보통신공학과 교수

〈관심분야〉 스마트센서, IoT, 에너지 하베스팅