

ITU-T G.hn 매체접근제어 부계층의 성능분석

김진혁[○], 이성원, 홍충선
경희대학교 컴퓨터공학과

jinhkim@networking.khu.ac.kr drsungwon@khu.ac.kr cshong@khu.ac.kr

Performance Analysis of Medium Access Control Sublayer of ITU-T G.hn

Jin Hyuk Kim[○], Sung Won Lee, Choong Seon Hong
Department of Computer Engineering, Kyunghee University

요 약

전력선 통신은 홈 네트워킹과 최근 관심이 증대되고 있는 스마트그리드에 매우 적합하다. 본 논문은 고속 전력선통신 표준 가운데 하나인 ITU-T G.hn의 매체접근제어 부계층에 대하여 기술하였고, 성능 분석을 수행하였다. 성능 분석을 수행하는 데에는 OMNeT++ 시뮬레이터를 이용하였다. 성능 평가를 수행 한 결과, 현재의 홈 네트워킹 기능을 수행하기에 충분한 성능을 보여주고 있다.

1. 서 론

전력선 통신(Power Line Communication; PLC)은 전화선에서 음성 신호에 고주파의 통신 신호를 실는 xDSL의 방법과 마찬가지로, 전력선의 전기 신호에 고주파의 통신 신호를 실어서, 상호 간에 통신을 하는 것이다. PLC는 전력선을 통신의 매체로 이용하기 때문에 케이블 같은 별도의 네트워크 장비 설치가 필요 없이, 전원 콘센트에 네트워크 어댑터만 꽂으면 손쉽게 네트워크를 구축할 수 있다. 또한 무선 통신의 경우, 실내 같은 환경에서는 특정 지역에 음영이 생기는 경우가 있는데, 전력선 통신은 그런 음영 지역이 존재하지 않는다. 따라서 가정이나 비즈니스 환경에서 광대역 인터넷 접속을 갖춘 유선 LAN 구축을 하는데 적합하다. 같은 이유로, 최근 이슈가 되고 있는 홈 네트워크와 스마트 그리드를 구축하는데도 매우 용이하기 때문에 관심이 증대되고 있다.

하지만 이러한 장점에도 불구하고 전력선이라는 매체에서 생기는, 다른 전기전자 기기들과 매체를 공유하면서 생기는 여러 가지의 잡음과, 신호 간섭 및, 신호 감쇠가 존재하기 때문에, 통신을 하는데 어려움이 있었고, 그런 이유로 현재까지 널리 상용화 되지는 못했다. 최근에서야 그런 어려운 점을 극복하고 여러 벤더에서 벤더 별로 고속 전력선 통신 기술을 제안하였으며, 시제품도 속속 출시하였다. 그러나 각각의 벤더별 기술 사이에는 호환이 되지 않았으며, 업계를 아우르는 표준이 아직 존재하지 않았다.

그러던 와중에, 2008년 12월에 IEEE에서 IEEE P1901 드래프트[1] 표준과, ITU-T에서 G.hn[2] 표준이 발표되었다. HomeGrid Forum[3]에서 주도하고 있는, ITU-T G.hn 표준은 물리(PHY) 계층에서는 FFT OFDM을 이용하였고 매체접근제어(Medium Access Control;MAC) 계층에서는 TDMA의 기본 구조를 갖추고, 필요에 따라 그 틀 안 CSMA/CA를 추가하여 쓰고 있다. 물리 계층에 대한 표준은 권고안 G.9960으로 2009년 11월에 발표되었고, MAC 계층에 대한 표준은 2010년 중에 권고안 G.9961로서 발표될 예정이다. 그리고 스마트그리드 같은 저소비전력, 저대역폭 기반 전력선 통신 표준을 따로 G.hnem으로 지원할 예정에 있다.

한편 IEEE 1901은 HomePlug Powerline Alliance[4] 측에서 주도한 FFT OFDM PHY과, HD-PLC Alliance[5] 측에서 주도한 Wavelet OFDM PHY의 두 PHY 계층을 복수의 PHY 계층으로 정의하였다. MAC 계층에서도 PHY계층과 마찬가지로 FFT MAC과 Wavelet MAC의 복수의 MAC을 정의하였으며, 상호 호환이 되지 않는다. 그렇기 때문에 IEEE 1901 표준 안에 Inter-PHY Protocol(IPP)이라는 것을 가져, 두 가지의 상이한 PHY/MAC 계층이 공존(Coexistence)을 할 수 있게 하였다[6]. 두 PHY 계층은 변조하는 방식이 서로의 이름처럼 다르나, MAC 계층에서는 두 MAC 모두 TDMA의 기본 구조 안에서, CSMA/CA를 혼합하여 쓰고 있고, MAC 계층 안에서의 처리 과정은 서로 상이하다.

ITU-T G.hn과 IEEE 1901은 상호 호환될 수 있게 할 예정이었으나, 서로의 입장을 좁히지 못하고 결렬되었다. 한편 ITU-T에서는 G.hn과 IEEE 1901 외의 여타 In-home 및 Access 단의 전력선 통신

[○]이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임” (No. 2009-0083838), Dr. CS Hong is the corresponding author.

표준의 상호 공존에 대한 표준 G.cx를 권고안 G.9972로 2011년 2월에 발표할 예정에 있으며, IEEE 1901의 IPP와 유사한 scheme을 가진다.[7]

본 논문에서는 전력선 통신 가운데 하나인 ITU-T G.hn에 관해 기술하였고, 시뮬레이터를 이용하여 성능 평가를 수행하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 이러한 전력선 통신에 대한 관련 연구를 기술하고 있으며, 3장에서는 우리가 수행한 성능 분석에 관해 기술하였고, 4장에서는 성능 분석에서 나온 결과로 내린 결론을 내렸고 향후 연구 과제에 대하여 기술하였다.

2. 관련연구

2.1 G.hn MAC에 대한 Structure

PLC는 전력선의 교류 전기가 가지고 있는 일정한 주파수(50Hz혹은60Hz)에 고주파의 데이터 신호를 실기 때문에 MAC Cycle의 길이도 일정하며, G.hn MAC에서의 MAC Cycle의 길이는 교류 전기 주기의 두배(40ms 혹은33.33ms)다. 참고로 IEEE 1901 FFT MAC도 동일하다.

G.hn MAC의 MAC Structure는 여러 개의 Transmission Opportunity(TXOP)로 나뉜 TDMA의 틀을 가지고, 각각의 TXOP에는 TDMA 기반의 비경쟁 기반 매체 접근을 하는 Contention Free TXOP(CFTXOP)나, CSMA/CA 기반의 경쟁 기반 매체 접근과 비경쟁 기반 매체 접근이 같이 나올 수 있는 Shared TXOP(STXOP), 또는 각각의 TXOP에 대한 정보와, Bandwidth Allocation 같은 여러 가지 MAC Structure에 대한 정보가 담겨있는 여타 프로토콜의 Beacon 메시지격인 Medium Access Plan(MAP), 세가지 가운데 하나가 오게 된다. MAP은 여타 프로토콜의 Beacon 메시지와는 다르게, 다음 MAC Cycle에 대한 계획을 미리 보내는 것이기 때문에, Beacon 메시지처럼, MAC Cycle의 선두에 나올 필요가 없어, 위치에 구애 받지 않는다. STXOP 안에는 여러 개의 Time Slot(TS)가 나오게 되는데, TS는 경쟁 기반의 Contention Based TS(CBTS)나, Contention Free TS(CFTS)의 두가지 TS가 있다. STXOP가 CBTS로만 구성이 되어 있으면 CBTXOP라고 한다. 그림 1은 MAC Cycle의 예시를 보여주고 있다.

G.hn 네트워크는 한 개의 Domain Master(DM)와, 여러 개의 Endpoint Node로 구성되어 있다. DM은 G.hn 네트워크의 우두머리로서, MAP을 매 MAC Cycle마다 보내게 되고, Network Admission과, Bandwidth Allocation을 담당한다.

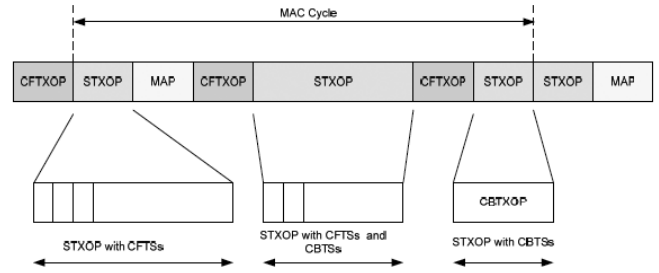


그림 1 MAC Cycle 의 예시

2.2 G.hn MAC의 각각의 기능적 모델

여타의 프로토콜에서 MAC이라고 하는 부분을 G.hn에서는 Data Link Layer(DLL)이라고 하며, DLL은 Application Protocol Convergence (APC)와 Logical Link Control(LLC), Media Access Control(MAC)의 세 부분으로 나뉘어 지며, APC는 상위 계층에서 내려온 Application Data Primitive(ADP)를 APC Protocol Data Unit(APDU)로 바꾼다. LLC는 APC에서 내려온 APDU에 대한 집합화, 단편화, 암호화, 재전송, 릴레이를 담당한다. MAC은 LLC에서 만들어진 LPDU를 목적지 별로 MPDU를 만들게 되며 장기간 송신을 안할 경우에는 Power Saving Mode 스케줄링을 하게 된다. 그리고 Management 모듈에서는 Network Registration, ARQ, Channel Estimation, Bandwidth Management & Flow Control, Topology Management, DM selection 등의 기능을 담당하게 된다. 특이사항으로는 각각의 Node들이 Topology Table을 독립적으로 가지고 있기 때문에 Flow 설정시, Originating Node와 Endpoint Node가 먼저P2P로 설정 후 DM에 Flow가 가능한지 의사를 물어보게 되고 confirm을 하면 Flow가 설정 되게 된다.

데이터는 다음과 같은 과정을 통하여 보내진다. APC로 상위 계층에서 ADP가 내려오면 APC는 APDU로 변환하고 Flow mapping을 한 후 APDU를 LLC로 넘기게 된다. LLC에서는 LLC로 넘어온 APDU나, DLL management 모듈에서 보내는 관리 메시지 LCDU(Link Control Data Unit)는, LLC Frame으로 바꾼다. 이때 필요한 경우 각각의 프레임을 Encryption하여 신뢰성 있게 보낼 수 있다. 바뀐 LLC 혹은 Relay function에 의해 Relay 된 LLC Frame은 같은 목적지로 향하는 LLC끼리 모이게 되고 이를 LLC Frame Block이라 하며, LLC Frame Block은 PHY 계층에서 행해지는 Forward Error Correcting(FEC)에서 쓰이는 FEC block의 길이에 맞게, 일정 길이의 Segment로 쪼개지게 된다. 그 때, 마지막 LLC의 뒤에는 Padding LLC Frame을 붙여야 한다. Segment에 헤더와 CRC를 붙인게, LPDU이고 이를 MAC으로 넘긴다. MAC에서는 넘어온 LPDU를 순서에 맞게 정렬하고, 스케줄링을 한 MPDU의 형태로 넘기게

PHY에 넘기게 되고 PHY에서는MPDU를 구성하는 각각의 LPDU를 PHY Frame으로 바꾸어 전력선으로 보내게 된다. 그림 2는 APDU가 MPDU로 바뀔 때 일어나는 Fragmentation의 과정을 보여주고 있다.

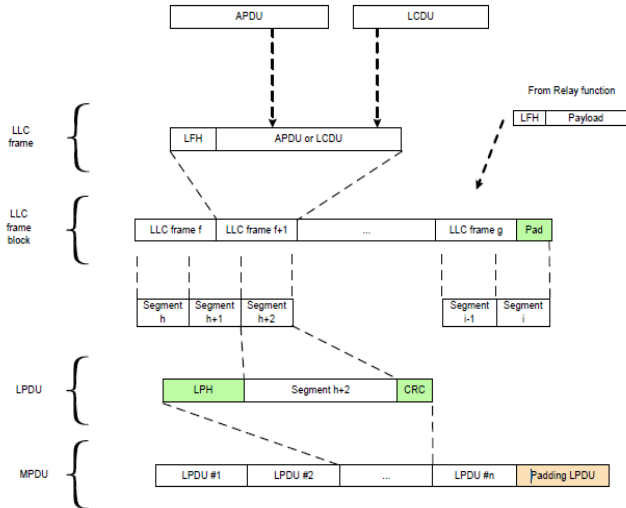


그림 2 G.hn MAC의 데이터의 단편화와 집합화 과정

2.3 G.hn MAC의 Medium Access와 Function

경쟁기반으로 데이터를 보낼 때, G.hn MAC에서는 CSMA/CA를 쓰게 되는데, 전력선은 잡음이나 간섭 및 감쇠가 일반적인 Wired medium에 비하여 상당히 심하므로, Ethernet의 경우처럼 CSMA/CD를 쓰지 못하고 무선 MAC 프로토콜에서 흔히 쓰이는 CSMA/CA를 쓰게 된다. CSMA/CA 과정 전개 시에 Priority resolution (PRS)와 Random backoff 과정을 거침으로써 우선 순위가 높은 프레임은 우선하여 전송할 수 있기 때문에, QoS를 보장할 수 있다. 그러면서 부가적으로 RTS/CTS을 쓸 수 있다. 이런 상황이므로 Wired medium임에도 불구하고, 무선 네트워크에서처럼 Hidden Terminal Problem로 인하여 Hidden Node가 발생할 수 있다. G.hn MAC에서는 이런 경우 DM에서 특정 노드를 지정하여 MAP을 Repeating하게 해 줄 수 있다. Association 이나 Authentication 같은 Network Admission 시에 DM의 메시지를 같은 이유로 관련 Management message를 Repeat해 주기도 한다.

그 밖에 G.hn MAC은 Authentication시 AKM 프레임워크를 이용하여 키 교환을 하고, 부가적으로 MAC Payload를 CCMP을 이용하여 프레임 단위로 encryption할 수 있다. 또한 Streaming같은 연속적인 데이터를 위하여Burst 기능이 있다. 데이터 프레임 전송 후 ACK 프레임을 받고 다시 다음 데이터 프레임을 전송하는데 반하여, Bursting에서는 최대 4개의 프레임마다 1개의 ACK 프레임으로 처리를 할 수

있게 하여, 지연시간 감소를 도모하고, Bidirectional Bursting도 지원한다.

G.hn의 PHY의 Baseband는 50MHz와 100MHz, 200MHz가 있으며, Power line과 Phone line에서는 50MHz와 100MHz를 줄 수 있고, Coaxial Cable에서는 50MHz와 100MHz, 200MHz 모두 인가 가능하다. 200MHz Baseband를 주고 성능평가를 한 결과, PHY레벨에서 1Gbps의 속도가 나왔다.

3. 성능 분석

3.1 평가 조건

본 논문에서는 OMNeT++ 시뮬레이터[8]를 이용하여 성능 분석을 수행하였다. 본 논문에서는 VoIP 1개, HDTV 1개, SDTV 2개를 보내는 것을 표 1과 같은 조건으로 가정하였다.

표 1 보내는 데이터의 종류.

항목	대역폭	보내는 주기	보내는 양
HDTV	25Mbps	0.5ms	12.5Kb
SDTV	5Mbps	2.5ms	12.5Kb
VoIP	50Kbps	20ms	1Kb

네트워크 토폴로지는 그림 3과 같이 정의하였다. 원래는 외부에서 들어오는 데이터 패킷을 Generator 모듈을 이용해서 만들고 있고, Domain Master 모듈로 전송한다. Domain Master 모듈에서는 그 받은 데이터를 네 군데의 모듈로 보낸다. Generator 모듈과 Domain Master 사이의 채널은 Ethernet Channel으로 가정하였고, Domain Master 모듈과 각 Endpoint 모듈사이의 채널은 PLC Channel로 가정하였다.

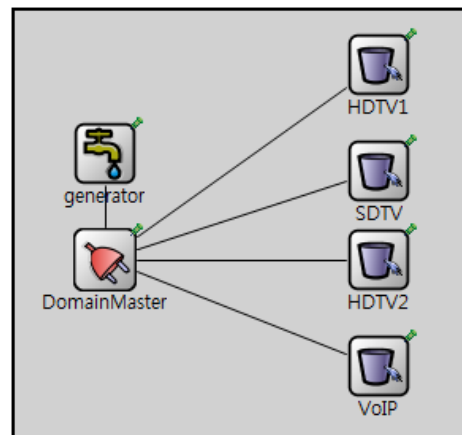


그림 3 성능분석시의 네트워크 토폴로지

Ethernet Channel은 Latency는 평균 5ms로 가정하였고 data rate는 100Mbps 그리고 Packet Error Rate는 0.1%로 가정하였다. PLC Channel은 Data rate는 Baseband 50MHz를 기준으로 하여 200Mbps, 그리고 Packet Error Rate는 [9]를 참고하여, 약 15%로 가정하였다. PLC Channel 상에는 다른 G.hn PLC 네트워크 및 다른 종류의 PLC 프로토콜 및 Access Network 및 Coexistence 프로토콜은 없는 것으로 가정하였다.

데이터는 모두 스트림 데이터이기 때문에 ACK를 없는 것으로 가정하였고, 전기의 주파수는 우리나라에서 사용하는 60Hz로 가정하여 1개 MAC Cycle의 길이는 33.33ms이다. QoS를 보장하기 위해 CFTXOP를 33.33ms 가운데 10ms을 예약하여 TDMA로 전송하는 것을 가정하였다.

3.2 분석 결과

표 2에서는 도착한 패킷들의 통계 값이 나와 있다. 지연은 평균 14.22ms이며, 지터 값은 최대 30.88ms가 나왔다.

표 2 도착한 패킷의 Latency 값과 Jitter 값.

항목	Latency	Jitter
도착횟수	1379	1379
평균	14.22ms	0.034ms
표준편차	0.0079	0.0027
최소값	7.62ms	0ms
최대값	31.51ms	30.88ms

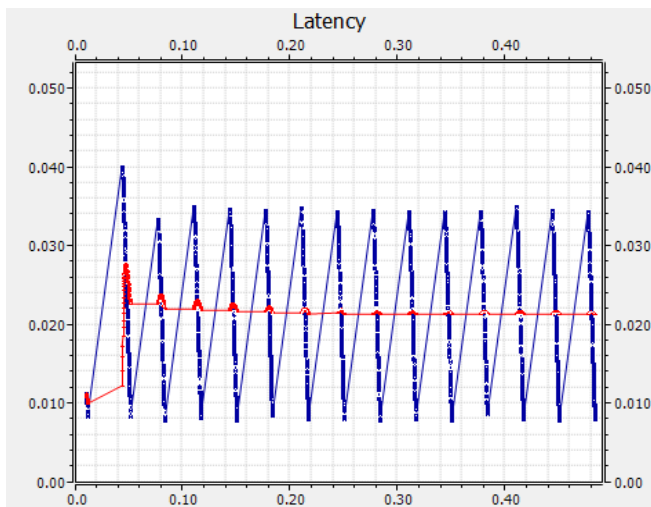


그림 4 전송된 패킷의 Latency 값

그림 4은 도착한 패킷들의 시간에 따른 지연 값을, 5는 지터 값을 보여주고 있다. 푸른 점은 각 패킷의 지연 값 혹은 지터 값이고, 붉은 점은 그에 대한 평균 값을 보여주고 있다. 패킷이 한 개 도착할 때 마다 계산하기 때문에 점이 모여 선과 같은 형태를 보여주고 있다.

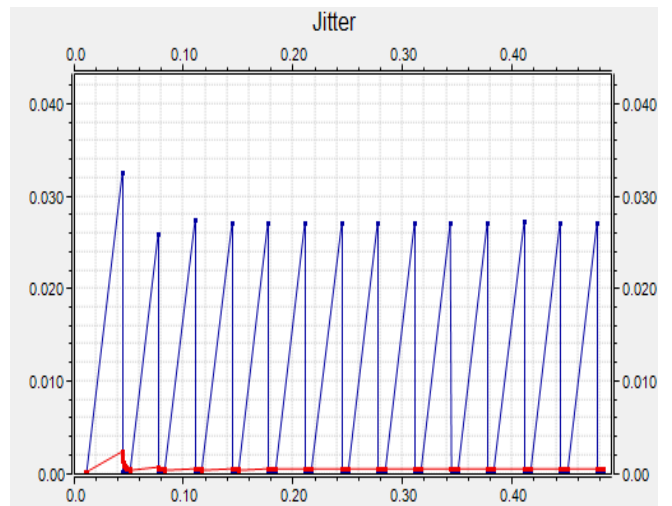


그림 5 전송된 패킷의 Jitter 값

분석한 결과 가정한 MAC Cycle 33.33ms 가운데 10ms만 사용하는 것으로도 홈 네트워킹 환경은 무리없이 전송이 되었다. 여기에 ACK나 여타의 사항을 고려하더라도 충분히 전달 가능 할 것이라고 사료된다. 그리고 1회에 모아서 전송하는 것으로 가정하였기 때문에, 그림 4처럼 지연이 모였다가 급격히 낮아지는 형태로 나오게 되었다. 그로 인해 그림 5의 지터 값도 한 MAC Cycle 마다 한번씩 튀는 형태로 나오게 되었다. 홈 네트워킹에서는 스트리밍 데이터를 많이 보내므로, 지터 값은 안 좋은 영향을 미칠 수 있다. 그런 지터값은 스트리밍시 더 큰 버퍼 값을 요구한다.

4. 결 론

본 논문에서는 우리는 홈 네트워킹과 스마트그리드에 유용한 PLC와 그 PLC의 표준 가운데 하나인 ITU-T G.hn MAC sublayer에 대해 기술하였고, G.hn의 목적인 Home Networking에 부합할 수 있는지, 성능 분석을 수행하였다. 그 결과, G.hn은 충분히 홈 네트워킹을 수행 할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 지터 값이 커질 수 있기 때문에 지터 값을 줄이기 위한 사항을 고려해야 한다.

참 고 문 헌

[1] IEEE P1901, "Draft Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access

- Control and Physical Layer Specifications";
<http://grouper.ieee.org/groups/1901>, Dec.
2008.
- [2] ITU-T G.hn (996x), "Unified high-speed wire-
line based home networking transceivers";
<http://www.itu.int/ITU-T/>, Dec. 2008.
- [3] HomeGrid Forum; [http://www.
homegridforum.org](http://www.homegridforum.org)
- [4] The HomePlug Powerline Alliance; [http://www.
homeplug.org](http://www.homeplug.org)
- [5] The HD-PLC Alliance; <http://www.hd-plc.org/>
- [6] S Galli, O Logvinov, "Recent Developments in
the Standardization of Power Line Communica-
tions within the IEEE", IEEE Communications
Magazine, July. 2008.
- [7] ITU-T G.cx (9972), "Coexistence mechanism
for wireline home networking transceivers",
[www.itu.int/ITU-T/workprog/wp_search.aspx?
isn_task=7337](http://www.itu.int/ITU-T/workprog/wp_search.aspx?isn_task=7337)
- [8] OMNeT++, <http://www.omnetpp.org/>
- [9] Jinfeng Chen, "Fluctuation Request: A Fast Re-
transmission Scheme in Power Line Communi-
cation Network", Journal of Communications,
Vol. 4, No. 1, Feb. 2009.