

멀티미디어 서비스를 위한 IEEE P1901 MAC의 개선방안 연구 및 성능 분석

박재용⁰, 이성원, 홍충선
경희대학교 컴퓨터공학과

jypark@networking.khu.ac.kr, drsungwon@khu.ac.kr, cshong@khu.ac.kr

An Enhanced Transmission MAC Scheme for Multimedia Service of IEEE P1901 MAC

Jae Yong Park⁰, Sung Won Lee, Choong Seon Hong
Department of Computer Engineering, Kyung Hee University

요 약

HDTV, IPTV, VoIP등과 같은 멀티미디어 보급에 따라 네트워크망은 실시간성과 QoS 보장을 요구받고 있다. 통신망을 별도로 사용하지 않아도 전력공급을 위하여 사용하는 전력선을 통신선으로 이용하도록 하는 기술이 전력선 통신이다. 이러한 통신방식은 소수의 회사들에 의하여 개별적으로 개발이 진행되어 오다가 2005년부터 IEEE에 의하여 표준화가 진행되고 있으며, 최근 완성단계에 와있다. 하지만 표준화가 아직 진행중인만큼 제안된 스펙에 대하여 성능이 검증된 논문이 많지 않다. 따라서 본 논문에서는 이러한 전력선 통신에 대한 개괄적인 내용을 기술하고, 표준화중인 IEEE의 P1901 MAC의 성능을 시뮬레이터 구현을 통하여 실질적으로 검증하였으며, 실시간성 보장을 위한 개선된 전송 스킴을 제안하였다.

1. 서 론

건물내에서 광대역통신을 하는 방법은 여러 가지가 있다. 현재에도 다양한 기술들이 개발되어서 적용되고 있으며, 앞으로도 건물내 통신방식은 큰 이슈가 될 것으로 보인다. 모든 기기들은 전력이 필요하며, 대부분의 경우는 전력선을 통하여 유선으로 공급된다. 따라서 전력선 통신을 위한 망은 이미 다 구축되어 있다고 볼 수 있다. 이러한 전력선을 이용하여 통신하는 기술들이 예전부터 논의되어 왔으나, 회사별로 제각각 기술개발이 이루어지다가 2005년부터 IEEE P1901 그룹에 의해 체계적으로 표준화가 진행되고 있다.[1,2] 이 표준은 교류 전력선을 사용해서 Physical layer(PHY) 기준으로 100Mbps이상의 고속통신을 하는 것에 대한 표준이다. 이 표준을 위한 장치는 Broadband Power Line(BPL) 장치라 하며, 100MHZ 이하의 주파수를 사용하고 있다. 각 장치들이 1500m내 이내에 있는 것을 전제로 하여 광대역 통신 서비스를 제공할 수 있으며, 랜이나 다른 전송방법을 쓰는 건물에서도

사용할 수 있다. 표준안은 BPL 장치간 균형적이고 효과적으로 PLC 채널을 사용하기 위한 것에 초점을 두고 있고, 서로 다른 BPL 장치간에도 공존하며 상호 운용 가능하도록 상세한 메커니즘을 정의하고 있다. 그럼과 동시에 충분한 대역폭과 QoS도 보장하도록 하였다. 마지막으로 국제표준협회(ISO)의 OSI reference model에서 Physical layer와 Datalink의 medium access sub-layer에 한하여 정의하였다.[1]

멀티미디어 서비스중 VoIP 서비스는 인터넷 전화 서비스로써, 실시간으로 생성되는 대화내용이 저장된 패킷이 얼마만큼 빠르면서, 규칙적으로 수신지까지 도달하는지 여부가 서비스 품질의 핵심이며, 특히 사용자가 전송 딜레이(Transit Delay) 및 지터(Jitter)에 대하여 체감정도가 큰 서비스이다.

본 논문에서는 전력선 통신을 사용한 멀티미디어 서비스 제공시, 원활한 서비스 지원 여부를 분석하기 위하여 IEEE 1901 MAC 표준에 대한 성능평가를 진행하였다. 또한, 전력선통신을 이용한 VoIP 서비스 제공시 예상되는 문제점 분석 및 지연시간을 개선시킨 MAC Scheme을 제안하였으며, Omnet++ 시뮬레이터를 이용하여 검증하였다.

2. 관련연구

IEEE 1901은 Beacon 기반의 주기적인 채널 접근 메커

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

니즘을 사용하며, 이러한 Beacon의 주기는 AC Line의 주파수와 밀접한 연관성을 가지고 있다.

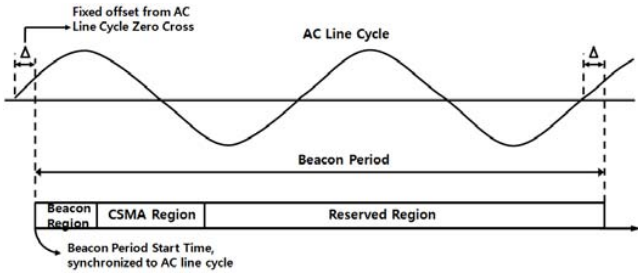


그림1. Beacon Period의 AC cycle 동기화

P1901 MAC은 PHY Layer의 변조방식에 따라 FFT, Wavelet 두가지가 있으며 특히 FFT MAC의 경우 Beacon주기가 AC 교류 주기인 50~60Hz에 동기화되어 동작한다.

IEEE P1901 MAC 스킴은 기본적으로 경쟁기반의 CSMA/CD 스킴과 비경쟁기반의 TDMA를 혼합하여 사용하는 구조를 가진다. 이에 따라 Beacon Period는 Beacon Region, CSMA Region, Reserved Region, 3구간으로 구성되어 있다.

2-1. Beacon Region

Beacon은 MAC 스킴에서 가장 먼저 나오며, 이어서 나오는 CSMA Region, Reserved Region의 스케줄링 정보를 포함한 STA의 링크, 인증정보등을 포함하고 있다. Beacon 슬롯의 개수는 최소 1개부터 최대 8개(MaxBeaconSlot) 까지 가질수 있으며, 이에 따라 Beacon 구간의 길이는 슬롯간 간격인 Beacon-to-Beacon Interframe Space (B2BIFS)를 포함하여 Beacon PPDU의 합과 같다. Beacon Fields는 16 Octet으로 이루어져 있으며 B2BIFS의 길이는 90usec ±0.5usec으로 정의되어 있다.

표1. 주요 Inter Frame Space(IFS) value

Parameter	Value
Allocation Interframe Spacing (AIFS)	30 usec
AllocationTimeUnit	10.24 usec
Beacon To Beacon Interframe Spacing (B2BIFS)	90 usec ±0.5 usec
Burst Interframe Spacing (BIFS)	20 ±0.5 usec
CIFS_AV	100 ±0.5 usec
Default Maximum MSDU Size	1522 octets
EIFS_AV	2920.64 ±5.0 usec

MaxBeaconSlot	8
MaxFL_AV	2501.12 usec ≤MaxFL_AV ≤ 5241.6 usec
MinCSMARegion	1500 usec
Priority Resolution Slot (PRS)	35.84 ±0.5 usec
RIFS_AV_default	140 ±0.5 usec
Slot Time	35.84 ±0.5 usec

2-2. CSMA Region

CSMA Region은 경쟁 기반의 전송방식을 이용하며, High Priority를 가지는 STA을 위하여 PRS0, PRS1 구간이 각각 35.84us씩 존재한다. 이후 35.84us씩 할당되는 Contention Window (CW)가 7~63개까지 존재할 수 있다.

CSMA 환경에서 MPDU Payload는 FL_AV 길이만큼 생성 가능하며, FL_AV는 최소 2501.12usec에서 최대 5241.6usec값을 가진다. MPDU 전송 후 Acknowledge frame 응답전까지 RIFS_AV의 짧은 RIFS를 가지며, Acknowledge frame 전송 후 다음 Contention 전까지 CIFS를 가진다.

2-3. Reserved Region

Reserved Region은 미리 정해진 스케줄 정보대로 STA이 전송을 하는 구간이다.

이것은 BM이 BSS 내의 모든 STA의 전송 스케줄 정보를 결정하며, 이 정보는 Beacon 주기에 맞추어 Beacon 프레임에 이용하여 전달한다.

각 구간별 시간은 1.28usec의 배수 시간만큼을 가진다.

2-4. MAC Frame Fragmentation and MPDU Generation

MPDU는 AV Frame Control가 PB(Phy Block)블록으로 이루어져 있다.

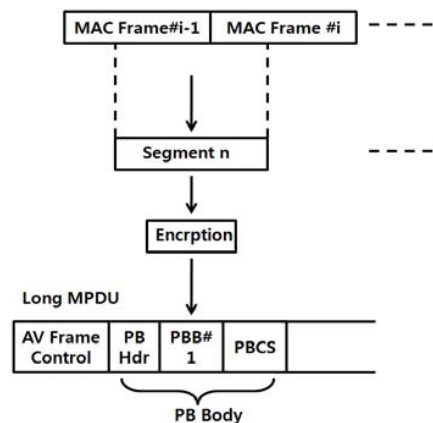


그림2. MAC Frame Fragmentation 및 MPDU 생성

Phy Block은 실제 PHY 레이어에서 전송되는 단위이며, ARQ의 단위이기도 하다.

Phy Block은 Phy header와 Phy body, PBCS로 이루어져 있으며 Phy body는 MSDU가 Segment된 단위로 생성된다.

MPDU의 전송방법은 크게 두가지가 있다.

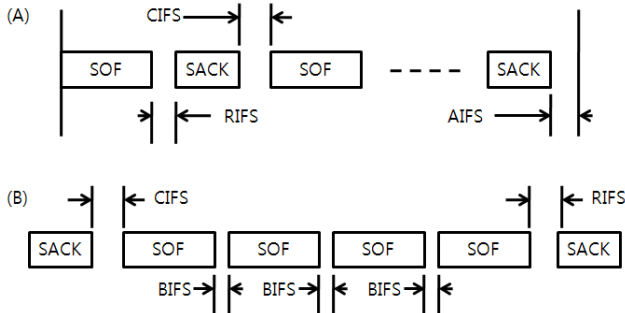


그림3. 전송방식과 구간별 IFS

(A)는 일반적인 전송방식으로써 SOF 구간에 MPDU를 전송하며 수신측으로부터 전송성공 Ack를 RIFS 이후에 받는 방법이다.

(B)는 여러 개의 MPDU를 연속적으로 전송후 SACK (Selective Ack)를 수신하는 방법으로 이러한 전송방식을 MPDU Bursting이라 부른다.

3. 제안 메커니즘

VoIP는 다른 미디어에 비해 인터랙티브한 환경에서 동작하는 관계로 전송지연 증가시 서비스 품질저하를 사용자가 직접적으로 느끼는 서비스이다. VoIP 서비스를 위하여 요구되는 대역폭은 32Kbps 정도로 낮은편에 속하지만, 20ms의 짧은 주기로 고정된 크기의 패킷 스트림을 생성하기 때문에, 관련연구에서 기술한 특성과 같이 MAC Frame을 AC 2 Cycle에 동기화하여 전송할 경우, 60Hz의 주파수 사용시 매 33ms마다 전송하게 되어 패킷의 생성주기보다 약 1.5배 긴 전송주기를 보이게 된다. 이러한 차이는 패킷의 딜레이를 증가시키며 지터값이 균일하지 못하게 되어 정기적으로 도착해야 하는 패킷스트림에 영향을 주어 서비스 품질의 저하를 가져온다.

본 논문에서는 VoIP 서비스를 원활하게 제공할 수 있는 개선된 전송스킴을 제안한다. 앞서 언급한 문제를 해결하기 위하여 VoIP용 Preemptive Priority Queue (PPQ)를 모뎀의 MAC에 생성해 두고, 다른 패킷보다 우선권을 주는 방법을 제안한다.

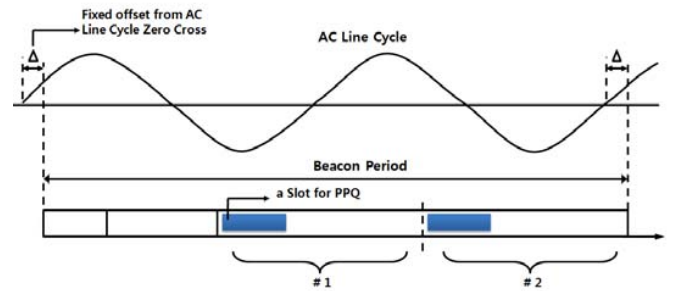


그림4. Proposed Scheme using PPQ

또한 Reserved Region 전체시간을 1/2로 나누어 #1과 #2로 구간을 정의한후, 슬롯중 첫부분을 PPQ 전송용으로 미리 할당해 놓도록 한다. 이를 통하여 약 15ms마다 전송할 수 있는 기회를 가질 수 있도록 한다.

4. 시뮬레이션 구현

본 챗터에서는 기존의 IEEE P1901 MAC 및 제안하는 MAC의 성능을 Omnet++ 시뮬레이터를 통하여 시뮬레이션을 진행한다. 또한 가정용 멀티미디어 스트림 서비스에 대한 적합성 검사도 진행하도록 한다.

성능 측정을 위하여 Power line 상에 단 두 대의 PLC modem 만이 존재하며 1:1로 연결하여, 경쟁 없이 최대한으로 높은 효율을 낼 수 있는 상황을 만든다. MAC 사이클은 AC 2 cycle에 맞춰서 동작하며 Beacon region, CSMA region, Reserved region의 형태를 가진다. 토폴로지 형태와 목적에 따라 구간별 길이는 비콘 스케줄링을 통하여 dynamic하게 바뀐다.

1:1인 경우 TDMA 방식을 적용할 경우 더욱 안정적인 전송구간을 확보함으로써, 높은 QoS를 유지할 수 있다. 또한 Contention Window 제거로 경쟁을 위해 대기 및 충돌로 인한 재전송 시간 또한 줄일 수 있다. CSMA Region은 최소한으로 유지하며, 1901의 표준에 따르면 최소 CSMA Region길이는 1500usec으로 정의되어 있다.

또한 성능측정을 위하여 동일한 목적지를 가지며, 많은 량의 MPDU를 연속적으로 전송하는 상황이므로 MPDU Bursting 모드를 이용하며, FL_AV값을 최대한으로 하여 프레임간 간격인 IFS 발생빈도도 줄였다.

4-1. 표준문서를 통한 수학적 효율계산

비콘 슬롯은 Beacon PPDU + B2BIFS로 나타낼 수 있으며, 최소 CSMA Region은 1500usec이다.

최대 FL_AV는 5241.6usec 이며 BIFS 20.48usec를 뺀 값이 1.28usec의 배수단위이어야 하므로 5221.12usec 가 전송을 위한 FL_AV 최대값이 될 수 있다. Bursting을 4회 연속으로 할 경우 계산은 다음과 같다.

$CIFS(100usec) + 5411.36 usec \times 4회 + RIFS_AV + SACK(16octet) = 21886.72usec$, MPDU 한번당

130,528 byte(Payload 5221.12usec)씩 4회 bursting시 522,122byte를 전송할 수 있다.

이는 PHY 에서 스펙에 주어진 최대의 효율을 가지는 경우이며, 실제 적용시는 다른 전자기기에 의한 잡음이 Power Line상에 존재하며, 거리에 따른 손실률도 이더넷이나 다른 미디어에 비해 크다는 것을 고려해야 할 것이다 .

4-2. Omnet++ 시뮬레이터를 이용한 성능평가

시뮬레이션에 사용한 모델은 가정에서 많이 쓰는 서비스로 사용하였다. 향후 디지털 방송 서비스가 늘어남에 따라 맥내로 들어오는 방송신호를 별도의 통신선없이 맥내에서 사용하는 것이 이번 시뮬레이션의 내용이다.

시뮬레이터에서는 맥내에 HD급 TV 2대와 CCTV 또는 주방등에서 쓸 수 있는 SD급 TV 1대, 인터넷 전화용 VoIP를 가정하였다. OMNET++ 시뮬레이터를 사용하여 시뮬레이션을 실시 하였으며, 모든 장치가 동작하는 상황을 고려하였다.

먼저 서비스되는 패킷의 특성은 다음과 같이 정의하였다.

표2. 서비스별 패킷특성

Service	Bandwidth	Period	Payload
HDTV	20Mbps	1ms	2500byte
SDTV	4Mbps	10ms	5000byte
VoIP	32kbps	20ms	80byte

토폴로지는 오로지 성능 측정을 위한 형태를 띄고 있다. 한 side에 서비스 공급 노드들이 몰려있고, 반대편 side에 수신하는 노드들이 모여있다. 성능측정전 상호 Association 및 Authentication은 다 되어 있으며, SACK Frame 만이 반대방향으로 전송된다.

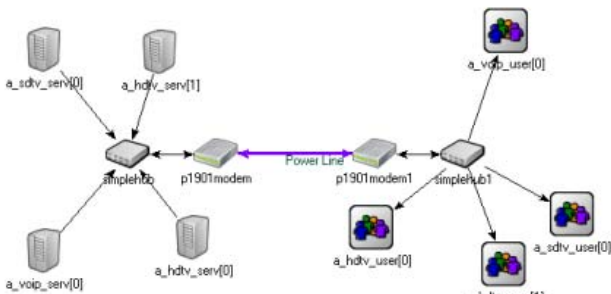


그림5. 성능측정을 위한 네트워크 토폴로지

성능 측정을 위하여 PLC modem모듈을 설계하였으며, 이 modem은 이더넷 포트와 PLC포트를 가지며 중간에서 컨버터 역할을 수행하였다.

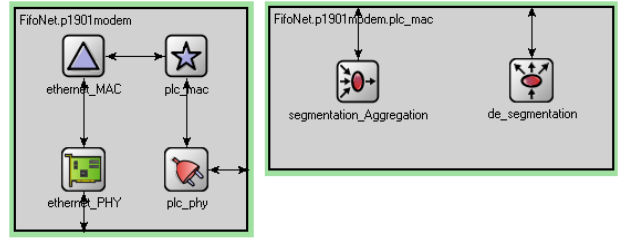


그림6. 모델의 Layer Model과 MAC Layer Module

시뮬레이션 결과 다음과 같은 결과를 얻었다. 아래 그림은 전송되는 MPDU의 길이를 시간으로 환산한 그래프이다. Dot별 33ms 마다 주기를 가지고 있으므로, 목표로한 상황일 경우 평균적으로 15%의 이용률을 나타내었다. 이는 이상적인 경우이며, 잡음을 통한 packet loss, 재전송 요청등을 감안하더라도 P1901의 MAC은 원하는 서비스가 가능함을 알 수 있다.

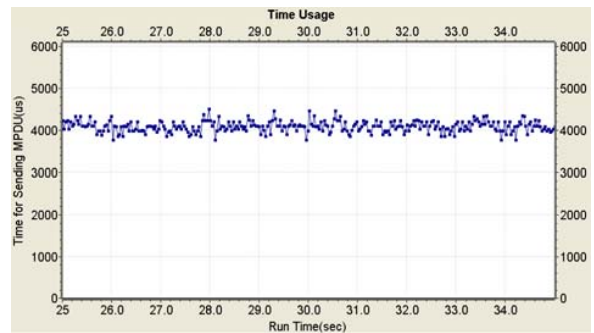


그림7. MPDU Length per Beacon Period

다음 그래프는 패킷별 지터값을 나타낸 그래프 이다. 패킷이 주기를 가지고 전송됨에 따라, 주기적인 전송 및 Aggregation으로 인하여 한번에 나타나는 형태를 보여주고 있다.

여러패킷이 큐에 저장되고, 주기적으로 전송됨에 따라 지터값이 0ms 또는, 다음 주기에 따라옴에 따라 33ms를 가지며, 간헐적으로 66ms 의 지터값을 보이고 있다.

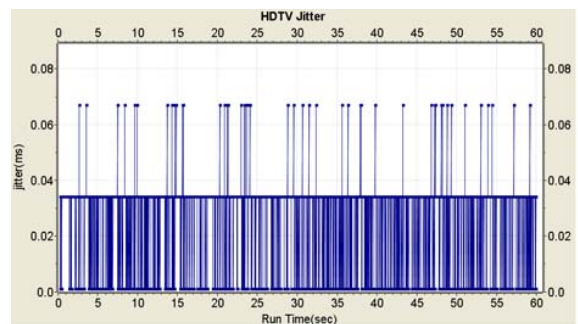


그림8. PLC 패킷의 Jitter 값

시뮬레이션 결과 지터가 다른 미디어 대비 상대적으로 크게 나타났으며, 이러한 이유로 인하여 멀티미디어 서비스시 긴 버퍼링 시간이 요구된다.

4-3. VoIP Service를 위한 개선스킴 적용

제안하는 전송스킴의 시뮬레이션을 위하여 그림9와 같은 토폴로지를 구성하였다. Power Line 구간은 PLC 모뎀을 이용하였으며, 양 모뎀의 반대쪽에는 VoIP 서비스를 위한 단말기를 구성하였다.

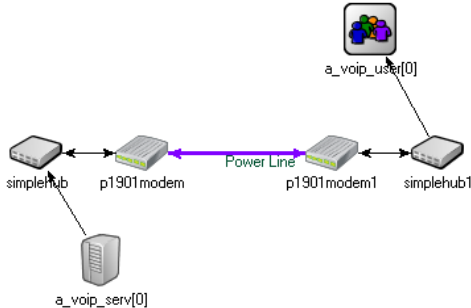


그림9. VoIP 서비스 패킷 시험 토폴로지 구성

그림10의 상단 그래프는 기존의 전송 스킴에서 VoIP 패킷의 시간대비 도착 간격을 나타낸 Jitter값 그래프이다.

AC Cycle에 동기화 됨으로써, 1개 또는 2개의 패킷이 Aggregation으로 인하여 연속적으로 도착하였을때는 지터값이 0이며, PLC 주기에 의하여 도착 하였을때에는 생성주기보다큰 33ms 에 맞춰지는 것을 알수 있다. 하지만 1분간 도착한 패킷들의 jitter 평균값은 0.0201sec로 생성주기 20ms과 거의 일치하였다.

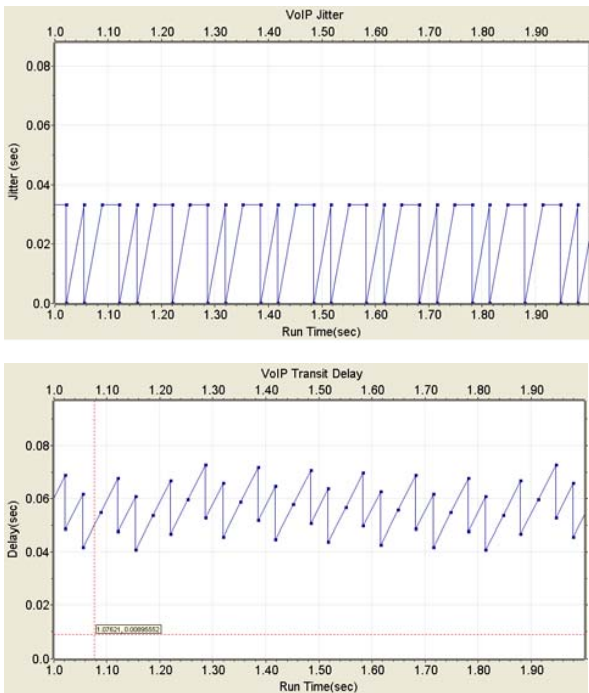


그림10. 기존스킴의 VoIP 지터와 전송지연

그림10 하단 그래프는 VoIP 패킷의 전송지연을 나타낸 그래프이다.

소스에서 패킷이 20ms 마다 생성되는 반면, 패킷들은 큐에 대기하다가 33ms 마다 PLC에서 전송을 실시하는 관계로 그래프가 대략적으로 2번 1번이 번갈아 가면서 반복되는 패턴을 띄게 된다.

다음으로는 앞서 제안하는 전송스킴을 적용하여 동일한 환경에서 시뮬레이션을 하였다. PPQ(Preemptive Priority Queue)를 적용하여, VoIP 패킷에 대한 우선순위를 높임과 동시에, TDMA 스케줄링시 #2 시작지점에 미리 할당하게 하였다.

그 결과 그림 11의 첫 그래프는 제안으로 인해 개선된 지터값을 보이고 있다. 이전에 33ms 마다 묶여서 들어오던 것이 15ms 마다 상대적으로 균일하게 들어오고 있다. 평균은 0.020sec으로 생성주기 및 기존스킴과 차이는 없으나 표준편차가 이전 방식에 비하여 절반으로 줄어든것으로 분석되어서 보다 균일하게 패킷이 전송된다는 것을 정량적으로 확인하였다.

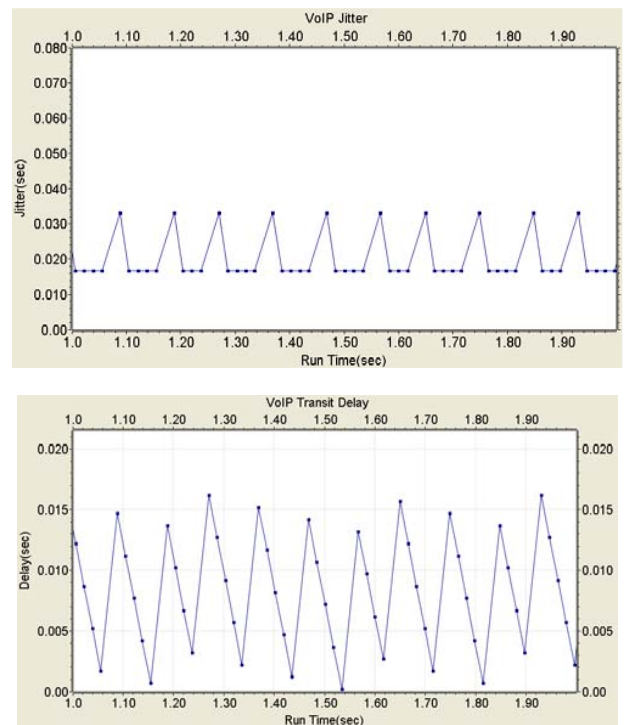


그림11. 제안스킴의 VoIP 지터와 전송지연

그림11 하단그래프는 전송 지연시간으로 Preemptive Priority Queue를 사용하여 패킷도착시 우선적으로 전송시켜주며, 전송 슬롯도 자주 할당해 줌으로서, 짧은 딜레이를 보여주고 있다.

기존 스킴을 이용할 경우 전송지연이 평균 0.0566sec에 비하여 새로운 스킴 적용후 평균 0.0081sec으로 약 86% 개선된것을 알 수 있다.

표3. VoIP 서비스시 기존스킴과 제안스킴의 비교
단위 : millisecond

	기존스킴	제안스킴	개선율
평균 전송지연	0.0566039	0.0081687	86%
최대 전송지연	0.0726775	0.0161775	78%
전송지연 표준편차	0.0096336	0.0047602	51%
평균 Jitter	0.0200515	0.0200247	0%
최대 Jitter	0.06601	0.06601	0%
Jitter 표준편차	0.0161638	0.0068451	58%

5. Conclusion

PLC 통신은 맥내 멀티미디어 서비스의 확대 및 별도의 통신선 요구가 없는 이점으로 인한 사용자 편의성 증대로 향후 보급 가능성이 큰 통신 방식이다.

PLC의 동작환경은 유선환경이지만 무선환경의 특성과 유사하다. 다른 가전기기로 인한 통신선 상의 노이즈, PLC MAC 특유의 동기화 방식등의 특징도 존재한다. 여기에 지속적인 표준화 및 기술 개발로 유선환경의 장점인 안정성과 전송거리 측면에서 무선대비 높은 효율을 나타낼것으로 기대된다.

본 논문에서는 IEEE P1901에서 진행중인 MAC을 분석해 보았고, 시뮬레이션을 통하여 성능을 측정 하였으며, 이를 통하여 가정용 멀티미디어 서비스의 지원 여부를 판단하였다. 그 결과 멀티미디어의 맥내 서비스가 충분히 가능함을 알 수 있었다. 또한, 성능 분석결과 VoIP 서비스의 문제점으로 나타난 편차가 큰 Jitter값을 완화시키는 방안을 제시하였으며, 해당 스킴을 적용한 시뮬레이션을 통하여 향상된 성능을 검증하였다.

멀티미디어 서비스시 TV(VOD, Realtime)등 미디어 스트림이 딜레이가 허용되는 일방적인 방송의 형태인 경우, PLC 특성을 반영하여 사용자 장치에서 충분한 버퍼링 시간을 확보한다면 시청에는 지장이 없을것으로 판단되며, VoIP도 제안한 스킴을 이용하여 원활히 서비스 가능하다.

6. Reference

[1] IEEE., "Draft Standard for Broadband Over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications", IEEE P1901, December 2008
<http://grouper.ieee.org/groups/1901/>.

[2] Stefano Galli, Panasonic, Oleg Logvinov, Arkados. "Recent Developments in the Standardization of Power Line Communications within the IEEE",

IEEE Communications Magazine, pp. 64-71 July 2008

[3] Yu-Ju Lin, Haniph A. Latchman, and Richard E. Newman, University of Florida Srinivas Katar, Intellon Corporation. "A Comparative Performance Study of Wireless and Power Line Networks", IEEE Communications Magazine, pp. 54-63. April 2003

[4] A. Varga, "The OMNeT++ Discrete Event Simulation System," Proc. of the European Simulation Multiconference, 2001.

[5] OMNeT++ 4.0 documentation, OMNET++ Community - www.omnetpp.org