

碩士學位論文

PLC를 利用한 멀티미디어
통신시스템 具現



濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

通信工學專攻

金 柄 石

2003

碩士學位論文

PLC를 利用한 멀티미디어
통신시스템 具現

指導教授 林 載 允



濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

金 柄 石

2003

PLC를 利用한 멀티미디어 통신시스템 具現

指導教授 林 載 允

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2003年 6月 日

濟州大學校 産業大學院
제주대학교 중앙도서관
電子電氣工學科 通信工學專攻

金 柄 石

金柄石의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2003年 6月 日

審査委員長 金 興 洙 印

委 員 文 建 印

委 員 林 載 允 印

목 차

Abstract	1
I. 서론	3
II. 전력선통신기술 개요 및 매체접속 제어 프로토콜	5
1. 전력선통신 기술의 개요	5
2. 전력선통신의 핵심기술	6
3. 고속 전력선통신용 매체접속 프로토콜	7
4. 전력선통신의 장애요인	14
III. 고속 PLC 모델 분석 및 실험결과	16
1. 전력선통신 모델의 성능측정	16
2. 성능측정을 위한 실증시험장 구성개요	19
3. 네트워크별 성능측정 및 결과	20
IV. 음성통신시스템 구현 및 실험	28
1. 음성전송 실험환경	28
2. 실험방법	29
3. 통신방식별 결과분석	34
V. 영상통신시스템 구현 및 실험	40
1. 영상전송 실험환경	40
2. 실험 방법	41

3. 영상전송 실험결과	44
VI 결론	46
참고문헌	48
부록 I. 고속 PLC모뎀의 기본구조	50
1. OFDM 변조방식을 채용한 고속PLC모뎀	50
2. DMT 변조방식을 채용한 고속 PLC모뎀	52

The Implementation of Multimedia Communication System using PLC

Byeong-Seog Kim

Department of Electrical and Electronic Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University

Supervised by professor Jea-yun Lim



Abstract

PLC, power line communication, uses existing electric lines for broadband communications in home networking environment and for telecommunication services to the home and business. So far, PLC technology has been applied to low speed services in the field of home automation. But, now this technology could provide telecommunication services such as all types of voice and data services, particularly Internet access.

In this thesis, the multimedia communication system is realized on the low voltage powerline. The principle of

CSMA/CA, which is the media access control protocol of the high speed PLC modem, is explained. The PLC modem adopting the protocol is chosen for the test, and the indicators of its performance : frame loss and latency, which are recommended by RFC2544, are measured by IXIA400 and then analyzed. Three types of networks are configured to measure its performance for each type.

A voice communication system is realized on the powerline. Packet loss, average delay time and jitter are measured and then compared with the results measured by IXIA400. PLC modems adopting OFDM and DMT modulation method are used for the test. The system satisfies the delay time required for real time transmission in unidirectional and bidirectional communication. Also, a image communication system using web cameras is realized, and transmission rate is measured. The system satisfies image transmission although the transmission rate differs slightly for each modem. Therefore, a new communication network can be configured by using existing powerlines as PLC network using high speed PLC modems has enough bandwidth and transmission rate which are necessary to transmit voice and image.

I. 서 론

전력선이란 원래 전력을 공급하기 위하여 시설된 것으로 망 구성이 복잡하고 선로특성이 열악하여 통신망으로 이용하기에는 적합하지 않았다. 그러나 반도체등 정보통신 기술의 급속한 발전으로 전력선을 새로운 통신수단으로서 활용 가능하다는 엄청난 매력 때문에 수많은 기술자들이 전력선 통신 기술개발에 도전해 왔으며, 최근에는 전력선망을 사용하여 선진국의 경우는 전화 및 멀티미디어 서비스를 통한 고부가가치 창조를 목적으로, 개발도상국이나 후진국의 경우는 전화사업을 목적으로 진행 중이다.

전력선을 이용한 통신 네트워크를 구성하기 위해서는 전력선 통신모델 이외에 중계기나 기존 인터넷 망과의 연동장치 등과 같은 부가적인 장치들의 개발이 필요하고, 또한 전력선의 급격한 부하변동으로 인한 통신채널의 왜곡현상과 잡음에 의한 통신장애의 문제해결이 필요하다. PLC기술의 동향을 살펴보면 저속 PLC기술은 오래 전부터 개발돼 집안에 있는 조명기기를 켜고 끄거나, 가스 밸브를 잠그고, 집안 내부를 모니터링 하는 등 다양한 가전기기들을 제어하는 홈오토메이션 분야에 적용되고 있으며, 최근 디지털 통신기술의 발달로 잡음과 주파수 페이딩 등에 의한 전력선 통신(PLC:power line communication)의 기술적 한계를 어느 정도 극복함으로써 xDSL과 같은 Mbps급의 고속 통신이 가능하기에 이르렀다.(대한전자공학회,2002)(한국전기연구원,2002.10)

본 논문에서는 저압선에 의해 음성 및 영상 전송을 구현하기 위한 시스템을 구축하고, 그 성능을 측정하였다. 실험에 사용된 고속 PLC모델의 매체접속제어방식인 CSMA/CA프로토콜의 동작원리에 대하여 설명한다. 전력선통신장비의 성능은 IXIA 400계측기를 이용하여 RFC 2544에서 정의한 망 상호접속장치의 성능으로 처리율(Throughput), 프레임손실(Frame

loss), 지연(Latency)에 대하여 측정하고 그 성능을 분석한다. 실험장비로 IXIA 400과 CSMA/CA프로토콜을 채용한 DMT방식의 모뎀을 사용한다. 전력선상에서 통신 모뎀을 이용하여 음성통신시스템을 구현하고 송신측에서 음성데이터 패킷을 전송하고 수신측에서 이를 수신하여 패킷손실, 평균 지연시간, 지터 등을 측정하고 IXIA 400계측기로 측정한 데이터와 비교 분석한다. 또한, 웹 카메라를 이용한 영상 통신시스템을 구현하여 프레임 손실없이 전송 가능한 데이터의 크기를 확인하여 보고 IXIA 400 계측기로 측정한 데이터와 비교 분석한다.

본 논문의 구성을 보면, 제 II장은 전력선 통신에 관련된 기본원리에 대하여 파악하고 제 III장에서는 계측기를 이용하여 고속 전력선 통신모뎀의 성능을 측정, 분석하며 제 IV장 및 제 V장에서는 저압 전력선상에서 PLC 모뎀을 이용한 VoIP 및 DVR 영상전송 시스템을 구현한다. 제 VI장에 저압선에서의 고속전력선 통신을 이용한 멀티미디어 전송결과에 대한 평가 및 향후 기대효과 등을 정리 한다.



II. 전력선통신 기술개요 및 매체 접속제어 프로토콜

1. 전력선통신 기술의 개요

전력선통신이란 가정이나 사무실에 포설되어 있는 50~60Hz 주파수의 교류전기를 공급하는 전력선을 통하여 100kHz~30MHz의 고주파 통신신호를 보내고 이를 고주파 필터를 이용하여 통신신호만을 따로 분리해 통신하는 방식을 말한다. 우리나라에서 사용하는 전력은 60Hz의 교류신호로서 가전제품은 이를 전력변환기(트랜스포머)를 통해 직류로 바꿔 사용하며 전력선통신에서의 고주파 신호는 저 출력의 신호이므로 일반 가전기기 작동에는 어떠한 영향도 미치지 않는다.



Table 1. Merits and demerits of PLC

장 점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 별도의 통신 선로 불필요 ○ 콘센트를 이용하여 간편하게 접근 가능
단 점	<ul style="list-style-type: none"> ○ 제한된 전송 전력 ○ 높은 부하 간섭과 잡음 ○ 가변 하는 신호 감쇠 및 임피던스 특성 ○ 주파수 선택적 특성

전력선 통신 기술은 외부에서 이동전화나 인터넷을 통해 조명제어, 침입탐지와 같은 방법, 가스밸브 원격차단과 같은 방재, 냉·난방 기기의 제어와 같은 홈오토메이션, 자동 원격검침등 그 활용 가능성이 매우 넓다. 특히 최근에는 아파트 건설시 전력선통신을 이용한 홈 오토메이션 기능을 기

본 설비로 장착하고 있으며, 전력선을 이용한 음성통신이나 멀티미디어 전송까지도 가능하게 하고 있다.

2. 전력선 통신의 핵심기술

전력선의 채널 특성을 살펴보면, 감쇄나 임피던스 및 잡음은 시간에 따라 변하고 주파수 선택적인 특성을 보인다. 이는 전력선의 채널특성이 연결된 기기들에 의해 영향을 받기 때문이며, 이에 따라 전송 캐리어 주파수의 선택을 어렵게 한다. 따라서 전력선 통신 모델을 개발함에 있어 이러한 전력선의 특성을 고려하여 이를 극복할 수 있는 전송방식을 선택하는 것이 중요하다. 이와 관련된 전력선 통신 기술로 신호처리기술, 채널코딩, 모델, 매체접속제어 등 4가지로 분류하여 살펴보면 다음과 같다.

1) 진단처리 기술(front end skill)이란 전력선에 신호를 실어주고 전력선으로부터 신호를 분리해 내는 기술로서 크게 대역 필터링(band pass filtering)과 임피던스 정합(impedance matching) 기술이 있다. 대역 필터링은 원하는 신호만 받아들이고 전력이나 각종 잡음신호는 제거하는 기술이며, 임피던스 정합은 선로의 임피던스와 관계된 것으로 주어진 환경에서 최대의 신호전력이 상대측에 전달되도록 하는 기술이다.

2) 채널 코딩(channel coding)이란 전력선에 의해 전송될 신호를 어떻게 코드화(encode) 할 것인가 혹은 전력선에 실려 있는 신호를 어떻게 부호화(decode) 할 것인가와 관련된 기술로 전력선의 노이즈 특성과 감쇠 특성으로 인해 전력선통신에 있어서 중요한 기술이며, 고속 전력선통신의 경우

저속 전력선 통신보다 노이즈에 민감하기 때문에 각별한 노력이 요구된다.

3) 모뎀은 신호 변복조 기술로 열악한 전력선채널 특성을 극복하고 전송 속도의 향상을 도모하기 위한 통신방식으로 FSK, Chirped-SS, DS-SS, DS-CDMA, OFDM 등을 주로 이용하고 있다.

4) 매체접속제어(media access control)란 신호 패킷의 충돌로 인해 낭비되는 시간과 대역폭을 줄여 신호를 안정적이며, 빠르게 보내기 위한 기술로 주로 이더넷의 액세스방식인 CSMA/CD 방식과 CDMA/CD, CSMA/CDCA, CSMA/CA방식 등을 이용하고 있다.

3. 고속 전력선 통신용 매체접속제어(MAC) 프로토콜



현재 저 전압의 전력선을 이용한 홈 네트워크 환경에서 고려되고 있는 매체접속 제어 프로토콜은 기존의 근거리 통신망 환경에서 사용되어 온 매체접속 제어 프로토콜을 그대로 활용하려는 추세이다. 기존의 근거리 통신망에서 10Mbps 속도까지 지원하는 매체접속 제어 프로토콜들이 이미 개발되어 사용되고 있으므로 전력선 통신을 위해 이들 매체접속 제어 프로토콜들을 당분간은 그대로 사용하면서 하부 전송 기술을 10Mbps급 속도까지 안정적으로 개발하는 것이 당면 과제로 여겨지고 있기 때문이다.

본 논문에서는 전력선통신에서 이용 가능한 기존 근거리 통신망용 매체접속 제어 프로토콜들 중에서 가장 초점이 맞추어지고 있는 충돌 감지형 캐리어감지 다중접속(CSMA/CD : carrier sense multiple access with collision detection)방식과 충돌 회피형 캐리어감지 다중접속(CSMA/CA: car-

rier sense multiple access with collision avoidance)방식을 동작 특성 면에서 비교 분석하고, 선로에 연결되는 가입자 수와 선로의 특성, 통신 속도 등을 주요 성능 파라미터로 간주하여 두 가지 매체접속 제어 프로토콜 중에서 어떠한 프로토콜이 전력선 통신용으로 적합한지를 검토하고자 한다. 이들 두 가지 프로토콜의 기본 동작원리는 공유 매체 환경에서 전송에 앞서 타임 슬롯 단위로 매체 상에 캐리어(carrier)신호가 검출되는지를 검사하는 캐리어감지 다중접속(CSMA: carrier sense multiple access) 동작 방식을 기본으로 하고 있다. 본 논문에서는 CSMA/CD 방식의 경우, 이미 많은 문헌에서 다루어 졌으며, 기술의 보편적인 이해정도가 높기 때문에 조사는 CSMA/CA를 주로 조사하였다.

1) 충돌 감지형 캐리어 감지 다중접속(CSMA/CA) 프로토콜의 동작원리

IEEE 802.11 표준 프로토콜인 CSMA/CA 프로토콜은 CSMA/CD와 기능이 유사하며, 경쟁형(contention-based)으로서 사용되지 않는 매체에 대한 액세스를 제일 먼저 시도한 노드가 전송 허락을 받는 방식이다. 또한 데이터를 전송하기에 앞서 데이터를 전송하겠다는 제어 신호를 먼저 보내어 사전에 충돌이 일어나지 않도록 한다.

CSMA/CA 프로토콜의 기본 동작 원리는 그림 7과 같다. 어떤 스테이션이 전송을 원하는데 매체가 이미 사용 중이면 끝나기를 기다려야 한다. 전송이 끝난 후에 전송을 원하는 스테이션들은 각기 데이터 전송을 위해 유지되어야 하는 최소한의 채널 유휴 시간(DIFS : distributed inter frame space)이 지나도록 기다린다. 이 시간이 지나도록 매체가 여전히 유휴 상태이면 전송을 원하는 스테이션들은 백오프 윈도우(backoff window)내의 타임 슬롯을 랜덤하게 선택하여 자신의 백오프(backoff) 카운터를 설정하게 된다. 매 타임 슬롯이 지날 때마다 각 스테이션은 자신의 백오프 카운

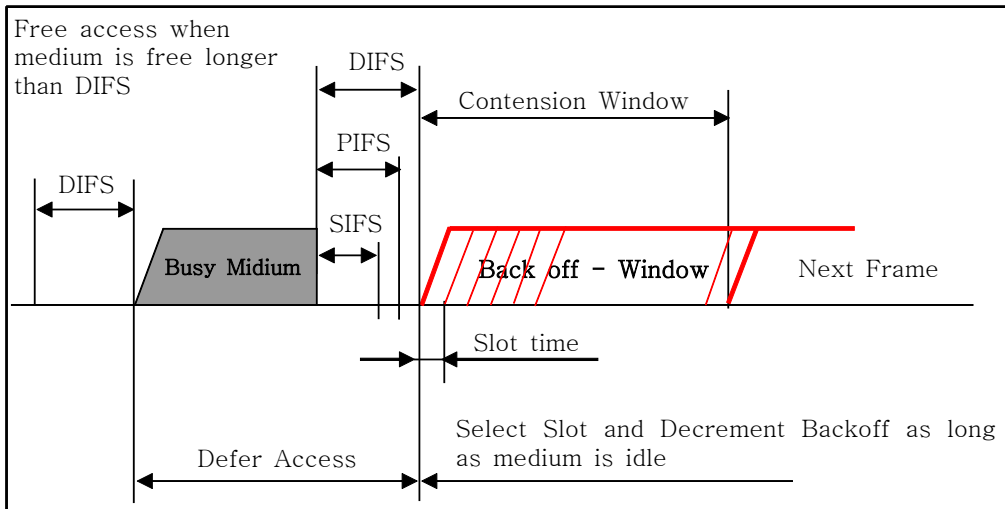


Fig. 7. The operating principle of CSMA/CA protocol

터 하나씩 감소시키면서 매체가 여전히 유힬 상태인지를 관찰하게 된다. 만약 백오프 카운터가 0이 되기 전에 매체가 사용 중인 것으로 관찰되면 다른 스테이션이 낮은 백오프 카운터를 선택하여 먼저 0이 되었음을 의미하게 된다. 즉, 이 경우에는 다른 스테이션과의 경쟁에서 진 경우가 되는 것이다. 그러나 카운터가 0이 되고 매체가 여전히 유힬 상태인 경우에는 다른 스테이션보다도 가장 앞선 위치의 슬롯을 선택한 경우이므로 우선적으로 전송할 기회를 갖게 된다.

한편 두 스테이션 이상이 동일한 슬롯을 선택하게 된 경우에는 충돌이 발생하게 되는 경우이므로 CSMA/CA 프로토콜에서는 송신 스테이션이 프레임 전송하기에 앞서 수신 스테이션과 RTS/CTS 메시지 교환이 먼저 이루어지게 된다. 즉, 카운터가 0이 되고 매체가 여전히 유힬 상태인 경우 송신 스테이션은 수신 스테이션에게 RTS(request to send) 메시지를 보낸다. 이에 대한 응답인 CTS(clear to send) 메시지를 받게 되면 동일한 슬롯을 선택한 다른 스테이션이 존재하지 않는 경우이므로 실제 데이터 프레임 충돌 없이 전달하게 된다. 그러나 수신 스테이션으로 부터 CTS 메

시지를 임계 시간이 지나도록 받지 못하는 경우에는 동일한 슬롯을 선택한 다른 스테이션이 존재하여 동시에 RTS 메시지를 보내게 되고 이 메시지는 충돌로 인하여 수신 스테이션에 제대로 전달되지 못할 것이므로 응답을 받을 수가 없게 된다. 따라서 CTS 메시지를 수신하지 못한 송신 스테이션은 충돌로 인식하게 된다. 충돌이 발생한 스테이션들은 지수 함수적으로 증가하는 CW(contention window) 값을 갖은 경쟁 상태로 재돌입한다. 즉, 충돌이 발생한 스테이션들은 다시 경쟁 윈도우의 슬롯을 예약하고서 타임 슬롯이 지날 때마다 카운터를 감소시키게 된다. 충돌이 반복됨에 따라 충돌 스테이션들은 예약 가능한 슬롯 범위가 2의 누승으로 계속 늘어나므로 충돌 스테이션들간에 새로운 슬롯 예약이 달라지게 될 확률을 높이게 된다.

경쟁에 진 스테이션, 즉, 카운터가 0이 되기 전에 매체가 사용 중임을 알게 된 스테이션들은 현재 백오프 카운터를 동결시키고 이전 전송이 끝나기를 기다리게 되는데, 다음 경쟁 상태에서는 새로이 랜덤하게 타임 슬롯을 선택하지 않고 이전 상태에서 남아있는 타임 슬롯만을 기다리는 것으로 새로운 스테이션들 보다 경쟁에서 우선순위가 높아지는 효과를 가진다.

CSMA/CA에서 전송하고자 하는 스테이션은 매체를 감지한 후 IFS(inter frame space)가 경과되었는지를 확인하여야 한다. CSMA/CA 프로토콜에서는 우선순위 서비스를 제공하기 위해 다음 세 가지 IFS 시간을 고려하고 있다.

- SIFS(short IFS) : 수신한 프레임에 대한 ACK프레임, 수신 RTS 프레임에 대한 CTS 프레임 등 즉각적인 응답 동작을 위해 사용된다.
- PIFS(point IFS) : CFP(contention free period) 프레임을 전송하기 위해 사용된다.
- DIFS(distributed IFS) : 충돌 기간에 비동기 프레임을 전달하기 위해 사용된다.

즉, 데이터 프레임을 전송하기 위해서는 최소한 DIFS 시간만큼 매체가 유힬 상태가 되어야 하며, 음성과 같이 데이터 프레임보다 우선순위가 높은 프레임을 전달하기 위해서는 DIFS 시간보다는 적은 시간인 PIFS 시간만큼 기다려야 한다. 이 시간을 달리 부여함으로써 매체가 유힬 상태인 경우 음성 프레임을 전달하려는 스테이션이 데이터 프레임을 전달하려는 스테이션보다 먼저 전송할 기회를 갖게 되는 것이다. 그러나 이미 전송한 프레임에 대한 응답 프레임을 보내야 할 스테이션이 다른 데이터 프레임이나 음성 프레임 전송 스테이션과의 경쟁에서 지게 되는 경우에는 송신 스테이션에서 프레임을 제대로 전달했음에도 불구하고 재전송을 해야만 한다. 따라서 보내온 프레임에 대한 응답 프레임이나 RTS 메시지에 대한 응답 메시지인 CTS 메시지 등과 같이 즉각적인 응답을 요구하는 프레임의 경우에는 다른 어떤 프레임보다 우선적으로 보낼 수 있도록 그림 8에서와 같이 SIFS 시간만큼만 매체가 유힬 상태이면 별도의 경쟁 없이 응답 프레임을 전송하게 된다.

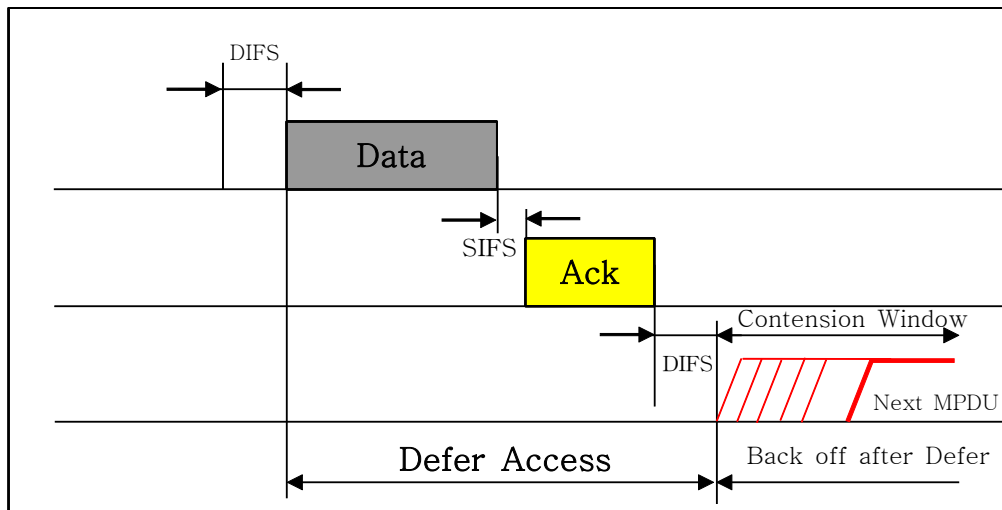


Fig. 8. Transmitting responding frames in CSMA/CA protocol

CSMA/CA 프로토콜의 장단점을 살펴보면 모든 스테이션은 비동기식 트래픽 전송을 위해 망에 접근하는 동등한 권리를 가지며, 충돌 회피 기능에다 RTS/CTS 확인 기능을 첨가하여 패킷 전송의 안정성을 보장한다. 또한 충돌 회피(collision avoidance)는 충돌 탐지(collision detection)에 비해 복잡하지 않으므로 칩 세트에 장착하는 비용이 적게 든다. 그러나, 데이터를 전송하기 전에 반드시 충돌 확인 신호를 전송하므로 각 노드들의 전송 충돌을 피할 수 있으나 미리 보내는 예비신호 때문에 트래픽이 많아지고 네트워크 속도도 그만큼 떨어지는 다소 느린 액세스 방식이다. 그래서 일반적인 유선기반 근거리 통신망 환경에서는 CSMA/CD 만큼 널리 사용되지는 않으며, 무선 환경과 같이 전송 매체의 품질이 떨어지는 환경에서 전송의 신뢰성 확보를 위해 주로 사용되고 있는 매체 접속 제어 프로토콜이다.

2) CSMA/CD와 CSMA/CA 프로토콜의 특성 비교



표 2에서는 전력선통신에서 이용 가능한 기존 근거리 통신망용 매체 접속 제어 프로토콜들 중 충돌 감지형 캐리어 감지 다중접속(CSMA/CD) 방식과 충돌 회피형 캐리어 감지 다중접속(CSMA/CA) 방식을 동작 특성 면에서 비교 분석하여 어느 프로토콜이 전력선 통신용으로 적합한지 비교 검토하였다.

앞에서 살펴 본 바와 같이 전력선 통신에 적합한 매체 접속 제어 프로토콜은 직접적인 성능 요소만을 기준으로 선택하기 보다는 전력선이라는 불안정한 매체가 갖는 매체 특성, 수용 노드의 규모, 통신속도 등을 가장 염두에 두어야 할 것으로 여겨진다.

따라서 본 논문에서 고려하는 매체 접속제어 프로토콜의 경우에는 다수의 화상 및 음성통신 서비스를 제공하는 기기를 수용해야 하므로

CSMA/CD와 CSMA/CA 프로토콜 모두 염두에 둘 수 있으나, 보다 안정적인 전송을 보장해 주는 CSMA/CA 프로토콜이 CSMA/CD 프로토콜에 비해 적합한 프로토콜로 생각된다. 또한 기존의 국내에서 개발되고 있는 모뎀 칩셋은 CSMA/CA 알고리즘을 이미 적용하고 있으며, 미국 Homeplug

Table 2. Characteristic of Comparison CSMA/CD and CSMA/CA based on its principle of operation

구 분	CSMA/CD	CSMA/CA
경쟁 해소 알고리즘	Non, 1, p-Persistent	DIFS + CW + RTS/CTS
우선 순위 지원	없음	지원함(긴급 데이터 전송 가능)
충돌 발생시	이진 백오프 알고리즘	데이터 프레임 충돌은 없음 (경쟁 윈도우 충돌 시에는 이진 백오프 알고리즘)
복잡도	복잡함	덜 복잡함
하드웨어 구현 비용	많음	적음
프레임 전송 안정성	재전송으로 해결	최대한 보장
오버헤드	적음	많음
응답 프레임	사용 안함	별도의 응답 프레임 사용
통신 속도	고속 통신에 적합	저속 통신에 적합
적용 분야	유선 LAN	무선LAN, AppleTalk

표준안도 변형된 CSMA/CA 알고리즘을 채택하고 있다. 이러한 상황에서 고압 배전선로용 MAC 프로토콜이 내장된 전력선모뎀 칩셋을 따로 개발하는 것은 시기적으로나 경제성면에서 불합리한 것으로 여겨진다. 따라서 저압선에서의 MAC 프로토콜은 CSMA/CA가 가장 적절하며, 현재의 기술

로는 모뎀의 전송속도나 전송성능이 불안정하므로 CSMA/CA를 적용한 칩 셀을 그대로 사용하는 것이 현실적으로 적절하다고 판단된다

4. 전력선통신의 장애요인

1) 잡음 특성

전력선에는 여러 가지의 전기·전자기기와 같은 부하가 접속되어 그 부하들로부터 전력선으로 유입되는 잡음과 전력선 자체의 고유 잡음 등 많은 잡음이 발생한다. 이런 잡음들은 전기·전자기기에 영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라, 전력선 통신을 할 때 데이터의 송·수신에 문제가 생길 우려가 많다. 전력선의 특성은 장소, 시간, 부하가 변함에 따라 불규칙적으로 변한다. 전력선 잡음에는 전자렌지나 고주파 치료기 등에서 나오는 지속정현파가 있고, 전기장판이나 조광기 등과 같이 SCR을 사용하는 기기에서 나오는 주기성잡음이 있으며, 형광등이나 전기용접 기기 등에서 발생하는 연속성 임펄스 잡음도 있으며, 대부분 전파관리법 등에 의해 규제하고 있다.

2) 감쇠 특성

감쇠 특성을 결정하는 것 중에 잡음 전력 레벨, 부하의 종류 및 부하량, 신호 전송거리 등이 있으며, 이들 중에 잡음 전력 레벨에 의한 감쇠량의 차이가 가장 큰 것으로 나타난다. 전력선에서 나타나는 감쇠 특성은 전송 주파수에 따라 많은 차이를 보이는데 특히 10 kHz 대역에서 잡음에 의한 감쇠현상이 심하게 나타난다. 주파수에 따른 감쇠 특성을 살펴보면 100 kHz 이하는 -25 dB정도로 비교적 적게 나타나지만, 100 kHz 이상에서는 대체로 0.25 dB/kHz로 선형적으로 감쇠 특성이 증가하다가 200 kHz부근에서 -50 dB에 이르고 그 이후에는 감쇠가 많이 증가하지는 않지만 60 dB를 초과하는

감쇠 특성을 보인다. 따라서 높은 주파수에서는 짧은 거리의 통신 목적에 사용할 수 있다.

3) 임피던스 특성

신호의 손실은 전력선 길이보다 부하에 의한 영향이 크며, 이는 부하 임피던스가 변화하기 때문에 전력선의 임피던스도 변화하여 생기는 것이다. 즉, 신호 전력을 전송하기 위해서는 임피던스 정합이 이루어져야 하는데 만약 임피던스가 부정합 되면 반사 손실이 많아지므로 신호 전력은 전송되기 힘들다. 따라서 임피던스의 정확한 값이 필요하며 정밀한 측정을 해서 그 값을 찾는 것이 중요하다. 아파트나 일반 주택의 임피던스는 비교적 안정적인 임피던스가 나타난다. 최대 신호전력을 전송하기 위해 임피던스 정합을 해야 하는데, 비교적 임피던스가 안정적으로 보이는 아파트나 일반 주택이 쉽게 정합이 될 것으로 보인다.



Ⅲ. 고속 PLC 모뎀 분석 및 실험결과

1. 전력선통신 모뎀의 성능측정

1) 시험목적

전력선 통신 기술의 발달에 따라 다양한 전력선 통신 핵심 기술들이 적용된 모뎀이 개발되고 있는 시점에서, 상용화에 앞서 모뎀 성능에 대한 실제적인 측정과 검토가 요구된다.

RFC 2544(망 상호 접속장치를 위한 성능시험)에서 권고하는 측정된 네트워크 성능 지표는 네트워크 성능지표 중, 일대일 처리율, 지연율, 프레임 손실, 일대다 처리율, 다대일 처리율 이다. 측정에 사용된 전력선 모뎀의 성능과 측정값을 통해 모뎀의 속도뿐만 아니라 어플리케이션에의 적용성 등을 알 수 있다.

이더넷 포트로부터 나머지 이더넷 포트로 전력선을 통하여 데이터를 교환할 수 있고, 프레임손실, 전송성능 및 지연시간을 측정한다.

2) 실험장비 개요



Fig. 9. Measuring devices and modem

그림 9는 실험을 위한 계측장비(IXIA 400)와 실험에 사용된 DMT변조방식을 채용한 고속 PLC모뎀으로 제원은 다음과 같다.

◎ PLC모뎀 제원

- Integrated PHY and MAC
- 데이터율 : up to 14Mbps
- 주파수 대역 : D.C - 20MHz
- 변조방식 : DMT
- Carrier Modulation : DQPSK, DBPSK, D-8PSK
- 매체접근 제어 프로토콜 : CSMA/CA

◎ IXIA 400 제원

- Multiport/Multilayer Traffic Generator and Performance Analyzer
- 16개의 10/100 Mbps Ethernet ports
- Real-Time Latency on a packet-by-packet basis
- QoS 모의 실현 및 측정
- Lan 10/100 네트워크 인터페이스 카드가 장착된 완전히 통합된 PC
- Load Module Slots : 4
- 초기구성
 - IXIA 컴퓨터는 부팅과 동시에 Ixia's windows Server를 로드한다.
 - IXIA 장비의 초기 구성을 위한 필요한 요소는 아래와 같다.
 - SVGA monitor · PS/2-style keyboard · PS/2-style mouse

그림 10은 IXIA 400의 전면부로서 4개의 카드를 장착 할 수 있고 각각의 카드마다 4개의 RJ-45 포트가 제공된다.

IXIA 장비는 4개의 포트를 입출력으로 사용하여 Ethernet 을 사용하는 모뎀의 성능을 테스트 할 수 있게 하드웨어 솔루션과 소프트웨어를 함께 지원한다. 그리고 4개의 포트가 모자라는 경우 다른 IXIA 장비를 동시 연결하여 사용할 수 있게 하였다.

IXIA 400 장비의 하드웨어 셋팅을 마친 후에 후면부의 파워를 켜면 IXIA server 설정이 시행되고 테스트 할 하드웨어와 소프트웨어의 구성을 마치게 된다.

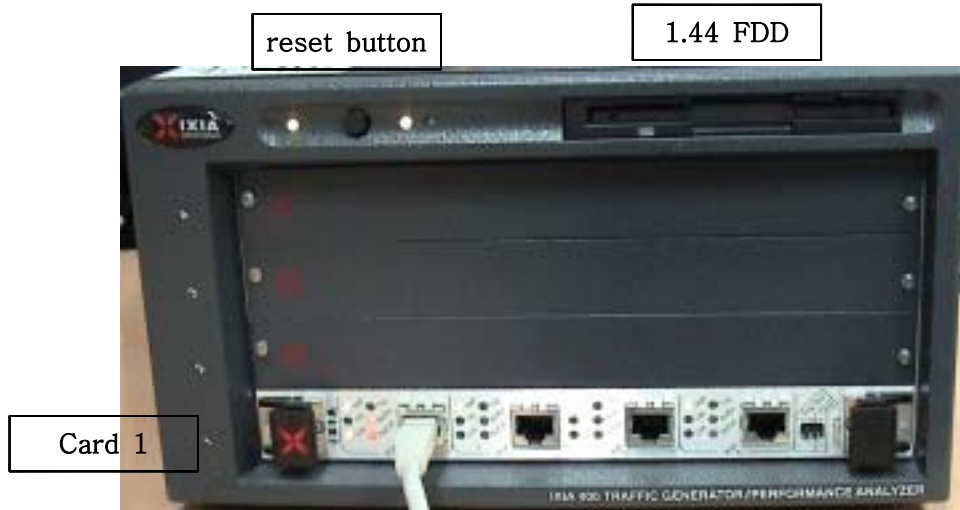


Fig. 10. Front view of IXIA 400

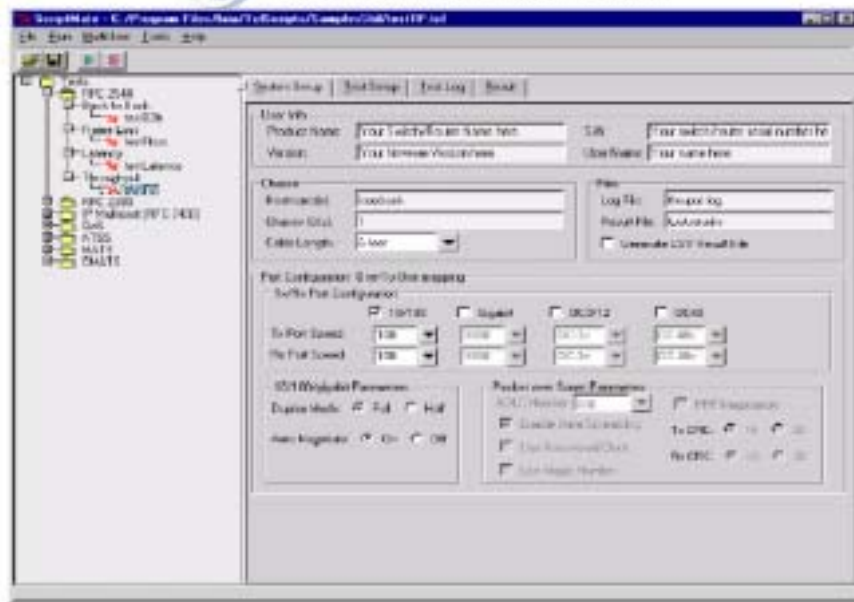


Fig. 11. Configuration screen of IXIA 400 for test

IXIA 400 장비의 운용프로그램인 Scrip Mate를 실행하고 RFC 2544 항목을 테스트하기 위해 해당 항목을 클릭하면 그림 11과 같은 구성 화면을 볼 수 있다. 화면 왼쪽에는 테스트할 수 있는 목록이 나오고 화면 오른쪽에는 각각의 테스트에 해당하는 설정 탭과 파라미터들이 나오게 된다. 여기서 필요한 파라미터 값을 입력하고 측정하고자 하는 네트워크의 성능지표를 측정한다.

2. 성능측정을 위한 실증시험장 구성개요

그림 12는 실제 PLC통신에 관련된 여러 가지 실험을 하기 위하여 전기 연구원에 시설되어진 실험동 건물의 평면도이다.

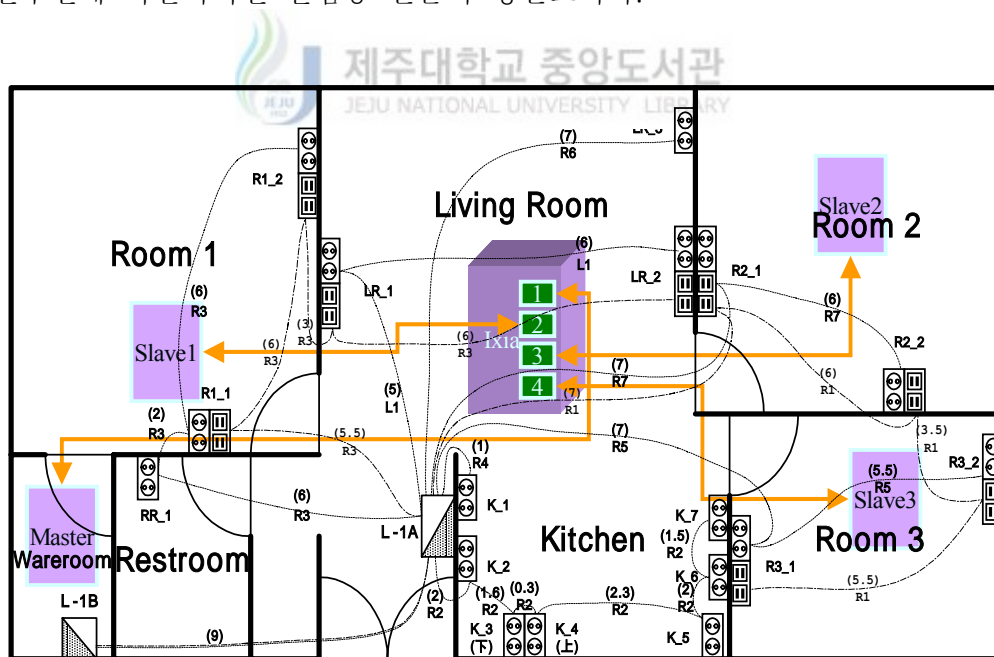


Fig. 12. Layout of devices for PLC transmission in the demo-house

‘Living Room’에 IXIA 장비를 설치하고 각각의 방에 PLC모뎀을 설치하였으며 IXIA 장비의 각 포트에 입출력을 테스트하기 위해 연결하였다.

그림 12에서 괄호 안에 있는 숫자는 거리를 나타내는 수치이고 알파벳은 각방의 이니셜을 따서 사용했다. 실험동 건물 내부에는 조명등이나 조리기구, 출입문 개폐등 대부분의 가전제품들을 저속 PLC통신을 이용하여 조작성이 가능하도록 구성되어 있으며 각방의 이니셜들은 LR(living room), R1.R2.R3(room1.2.3), R(rest room), K(kitchen)와 같으며 실험을 위한 네트워크 구성으로 LR에 IXIA 400계측장비를 설치하였으며 마스터모뎀과 슬레이브 모뎀들은 각 방에 설치하였다.

3. 네트워크별 성능 측정 및 결과



이 장에서는 Ixia400계측장비를 이용하여 PLC모뎀의 성능을 확인하기 위하여 세가지 네트워크를 구성하여 전송속도 및 지연율과 프레임 손실도 측정한다.

1) 일 대 일 구성(One-to-One mapping)

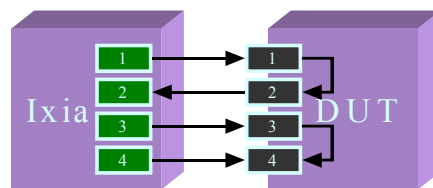


Fig. 13. Configuration diagram of One-to-One mapping

그림 13은 일대일 구성으로서 프레임 전송시 처리율과 지연시간 및 프레임 손실 등을 측정하기 위한 네트워크이다.

(1) 처리율(throughput)

처리율은 장치가 프레임 손실 없이 수신할 수 있는 프레임 전송 속도의 최대값을 나타내며 그의 측정은 10Mbps 기준으로 2진 탐색기법(binary search algorithm)을 이용해서 프레임 손실 없이 송수신 되는 최대점을 찾는 과정으로 수행된다. 테스트의 결과는 각각의 프레임에 대해서 초당 프레임 처리율로 나타나며, 기준 속도의 분율을 통해 최대 송수신 속도를 알 수 있는 지표가 된다.

Tested by	: IXIA - Ixia Version 3.41.62 SP5						
	Copyright © 1997 - 2001 IXIA						
Test Name/Type	: RFC 2544 Throughput Test						
Latency Measurement Type:	0						
Protocol	: MAC						
Number of Trials	: 1						
Duration of each trial:	00:00:20 sec						
Estimated Run Time	: 00:40:20 sec						
Theoretical maximum Frame Rates (frames/second) for different frame sizes (bytes):							
Speed	64	128	256	512	1024	1280	1518

10 Mbps	14881	8446	4529	2350	1198	962	813
- Port Configuration - One-to-One							
Name	TXchassis.card.port	Speed	Duplex	RXchassis.card.port	Speed	Duplex	

Pair1	1.1.1	10	half	4.2.2	10	half	
Pair2	4.2.2	10	half	1.1.1	10	half	

Fig. 14. One-to-One throughput test

그림 14는 일대일 처리율 측정결과이며 그림 11의 화면에서 처리율 테스트에 해당하는 파라미터 값을 입력하여 네트워크 성능지표를 측정된 화면을 캡처하여 나타내었다. 즉 10Mbps 에서 프레임 크기가 64바이트인 경우 14881개의 패킷을 수신하였고 1518바이트인 경우에는 813개의 패킷을 수신하였다.

그림 14의 내용을 요약해 보면 성능측정프로그램의 설정값과 측정결과를 나타내었다. 측정장비로 IXIA장비를 사용했으며 테스트 내용은 RFC2544에 의한 전송테스트이고 MAC프로토콜을 사용하였다. 측정 시도횟수는 1회이며 각 프레임에 크기마다 테스트하는 시간을 20초로 설정하였으며 테스트시간은 40분 20초가 소요되었다.

Table 3. Test results for One-to-One throughput

byte	64	128	256	512	1024	1280	1518
%TxTput	4.49	7.86	14.43	27.79	44.86	55.83	66.04
패킷수	668	663	635	652	537	536	536
속도(kbps)	449	786	1443	2779	4486	5583	6604

표 3에서 처리율(%TxTput)은 Ixia400 계측기를 가지고 고속PLC모뎀이 일대일 구성상태에서 측정한 데이터이며 패킷수는 프레임 크기에 해당하는 처리율과 그림 14에서 전송되어진 프레임수를 가지고 표현 할 수 있다. 예를 들어, 64byte단위로 전송시의 패킷수는 처리율(4.49%)과 수신된 프레임(14881)의 곱으로 668개가 된다. 여기서 계산되어진 패킷수는 모뎀의 특성에 따라 다소차이가 발생 할 수 있다. 일대일 처리율은 고속 PLC모뎀을 사용하여 10Mbps를 기준으로 IXIA400 계측기를 가지고 측정한 값이며 처리율(%TxTput)에 10Mbps를 곱하면 측정당시의 속도가 나온다.

(2) 지연시간(Latency)

지연시간은 통신 장비 간 송수신 과정에서 프레임들의 송수신 지연시간을 나타낸다. 프레임들은 특정기간 동안 송신 측과 수신 측에 전송되며, 이 프레임들이 송신 될 때 시간이 기록되고 그 프레임이 도착하면 도착시간이 기록되어, 이 송수신 시간 차이가 지연시간을 나타낸다. 지연시간의 측정은 특정 두 지점 간에 일대일로 구성된다.

지연시간의 결과는 각각의 프레임에 대한 모든 시도 회수의 전송지연 평균값을 보여 주며 실시간 서비스를 위한 성능 지표가 된다.

Table 4. Test results for One-to-One Latency

byte	64	128	256	512	1024	1280	1518
Latency (ms)	12.278	202.352	85.910	45.197	53.729	29.909	48.466

실시간에 대한 평가는 표 4의 일대일 지연시간에 의해 어느 정도 추측할 수 있다. 음성인 VoIP나 영상 데이터를 실시간 전송시에 QoS를 유지하기 위해 어느 정도의 지연시간을 유지해야 된다. 실제 음성이나 영상의 데이터를 보낼 때 데이터의 생성 타임은 약간의 차이가 있겠지만 약 33ms (30 frames/sec)의 간격으로 본다면 패킷의 크기와 표 4의 측정 수치를 가지고 전력선에서의 통신가능성은 충분히 검증할 수 있다고 본다. 만약 패킷의 크기에 따라 지연시간을 고려한다면 표 4의 결과에 따라 패킷의 크기를 선택할 수 있을 것이다.

(3) 프레임 손실 (frame loss)

프레임 손실측정은 특정 두 지점 간에 일대일로 구성되고 통신 모뎀 장치에 대해 각각 다른 전송율(frame rate)에 따라 손실되는 프레임의 수를 나타낸다. 먼저 특정한 전송 프레임 갯수를 정하고 프레임 전송율을 단계적으로 줄여 나가면서 전송된 모든 프레임을 수신할 때까지 반복적으로 측

정한다. 테스트의 결과는 각각의 프레임 사이즈에 대해 퍼센트 단위로 측정된 손실율을 보여주며 가입자망의 데이터 송수신 신뢰도의 지표가 된다.

프레임 손실 측정은 64byte 프레임부터 1518byte 프레임까지 순차적으로 프레임을 전송하고 프레임의 갯수는 첫 번째는 10Mbps로 전송하며 2번째 부터는 10%씩 감하여 9Mbps, 3번째는 8Mbps 10번째는 1Mbps 로 전송하게 되는데 이해를 돕기 위해 처리율 측정결과와 비교해 보면 64 바이트 프레임일 때 400kbps 정도의 성능을 보이므로 10번째 프레임 손실 측정에서는 60%이상의 전송손실을 나타낸다. 본 논문의 프레임손실 측정에서는 10번째까지만 실험하도록 옵션을 지정하였으며 다른 프레임 크기에 대해서도 비슷한 결과를 나타내고 있다

Table 5. Test results for One-to-One frame loss

byte	64	128	256	512	1024	1280	1518
	%LOSS	%LOSS	%LOSS	%LOSS	%LOSS	%LOSS	%LOSS
1 times	95.501	92.145	85.568	72.215	55.144	44.174	33.958
2 times	94.935	91.346	84.034	69.150	50.244	37.975	26.649
3 times	94.358	90.266	81.952	65.248	43.939	30.213	17.456
4 times	93.616	88.813	79.358	60.282	35.987	20.258	5.649
5 times	92.582	86.953	75.922	53.695	25.274	7.045	0.000
6 times	91.062	84.438	71.131	44.445	10.374	0.000	
7 times	88.957	80.626	63.905	30.612	0.002		
8 times	85.236	74.143	51.926	7.453	0.000		
9 times	77.974	61.237	27.969	0.000			
10 times	64.258	22.660	0.003				

2) 일 대 다 구성(One-to-Many mapping)

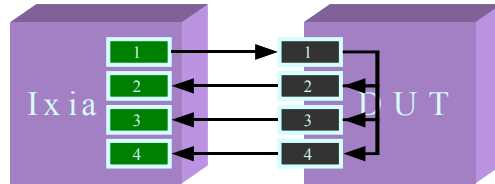


Fig. 15. Configuration diagram of One-to-Many mapping

그림 15는 일 대 다 일 경우 처리율에 대한 성능지표중 프레임전송시 처리율을 측정하고자 하는 네트워크이다.

Table 6. Test results for One-to-Many throughput

byte	Tx	Rx	TxTput(fps)	%TxTput	kbps
64	1.1.1	1.1.2 1.1.3 1.1.4	579	3.89	389
128			645	7.64	764
258			608	13.42	1342
512			537	22.85	2285
1024			447	37.34	3734
1280			435	45.22	4522
1518			406	49.94	4994

※ 참조 사항

1.1.1 : Master Modem, 1.1.2 : Room1의 slave modem 1,
1.1.3 : Room1의 slave modem 2, 1.1.4 : Room1의 slave modem 3

일대다 테스트는 Master모뎀에서 여러 대의 Slave모뎀으로 전송하는 것을 가정하고 실험을 진행 하였으며 그 측정결과를 표 6에 나타내었다.

일대다 처리율은 장치가 프레임 손실 없이 한 인터페이스에서 여러 인터

페이스로 전송할 수 있는 최대값을 나타내며 그 측정은 2진 탐색기법을 이용하여 프레임손실 없이 송수신의 최대값을 나타낸다.

일대다 실험에서는 한대의 모뎀에서 3대의 모뎀으로 데이터를 전송하는 것을 전제로 하였으며 프레임의 크기를 64byte단위로 전송할 경우 처리율은 3.89%이고 속도는 389kbps를 나타낸다.

3) 다 대 일 구성(Many-to-One mapping)

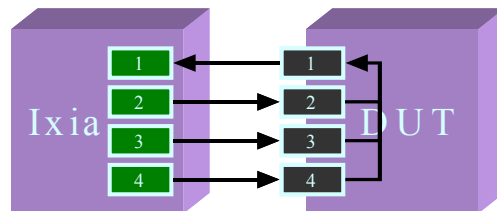


Fig. 16. Configuration diagram of Many-to-One mapping

그림 16은 다대일 성능지표 중 처리율을 측정하는 방법으로 장치가 프레임 손실없이 여러대의 모뎀에서 하나의 모뎀으로 데이터 전송시 수신할 수 있는 최대값을 나타내며 그의 측정은 2진 탐색기법을 이용하여 프레임 손실없이 수신시 최대값을 나타낸다.

다대일 테스트는 Slave 모뎀에서 Master 모뎀으로 트래픽이 집중되는 것을 가정하고 실험을 하였다.

일대다와 다대일의 경우는 한 모뎀이 처리할 수 있는 트래픽을 알기 위해 테스트 한 것이다. 즉 전력선통신의 경우 서버모뎀을 가지고 여러 대의 슬레이브 모뎀을 처리할 경우가 많을 것이라고 추측해서 그에 대한 상황을 가정해서 테스트 한 것이다.

표 7의 결과에서 보듯이 한 대의 서버 모뎀에서 여러 대의 슬레이브 모뎀으로 보내는 데이터율은 일대일과 거의 비슷하지만 여러 대의 슬레이브

IV. 음성통신시스템 구현 및 실험

1. 음성전송 실험환경

	
<p>① 전력선 : 25M * 2Roll 50M * 1Roll - VCTF전선(2.0mm*2C,삼성)</p>	<p>② Embedded 시스템 보드 - 50MHz, 32bit, EIS C Core의 Micro Controller - 음성 DSP모듈, Ethernet 통신 모듈 탑재</p>
	
<p>③ OFDM 변조방식을 채용한 고속 PLC 모뎀</p>	<p>④ DMT 변조방식을 채용한 고속 PLC 모뎀</p>

Fig. 17. Devices used on VoIP test

그림 17은 전력선 위에서 고속 전력선모뎀을 이용한 음성통신 시스템을 구현하기 위한 장비들이다.



Fig. 18. Realization of VoIP using PLC

그림 18은 그림 17의 장비들을 이용하여 실험회로를 구성하고 이때 전력선은 연장코드선 25m 2조와 50m 1조를 이용하여 50m~100m까지 연장하여 실험한다.

2. 실험방법

1) 실험 구성방식

전력선상에서 PLC모뎀을 이용하여 인터넷 기반의 음성통신이 구현 가능

한지 적합성 여부를 검증한다. 이를 실험하기 위한 인터넷 기반의 음성 통신 장비로써 MCU와 음성 DSP 모듈이 장착된 Embedded 시스템 보드와 고속 PLC 모뎀을 이용하였다. 즉 인터넷에 연결하여 통신했던 한 쌍의 음성 통신 장비를 고속 PLC 모뎀과 연결함으로써 중간에 전력선을 통해 통신하도록 하였다.

2) 음성통신에 대한 성능평가 기준

인터넷 기반의 음성 통신은 인터넷의 대역폭을 효율적으로 활용하기 위해 음성 데이터를 압축하여 전송하므로 음성 품질은 다소 떨어진다. 한편 음성 데이터는 지연에 상당히 민감하나 일반적으로 지연시간이 150 ~ 200msec 사이이면 대부분의 이용자는 지연된 사항을 느끼지 못하게 된다.

그림 19에서 나타나듯이 통신망에서 일어나는 지연에는 전달지연과 처리지연이 있는데, 전달지연은 광섬유나 구리를 매체로 사용하는 통신망에서 매체의 특성에 따라 나타나는 지연이며 처리지연은 정보를 처리하는 통신 기기의 정보 입력에서 출력까지 걸리는 시간에 의해 발생하는데 코덱 지연과 대기열 지연 등이 포함된다.

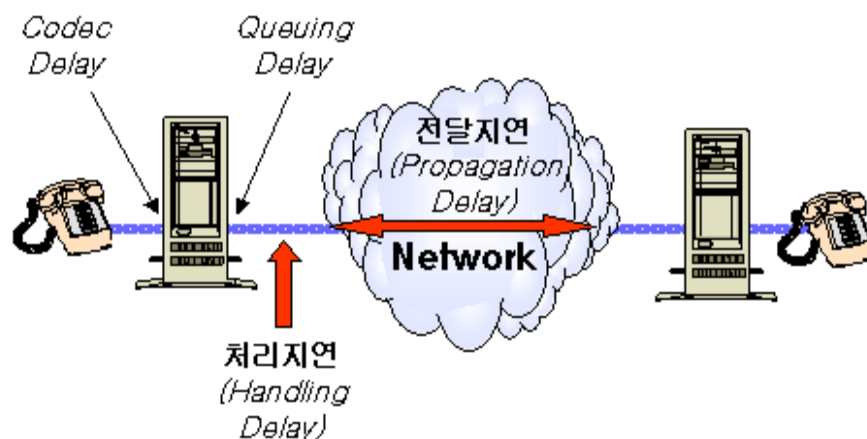


Fig. 19. Latency factor on communication network

전달지연과 처리지연 이외에 음성 품질에 지대한 영향을 주는 다른 요소들 중의 하나가 지터(jitter)이다. 지터란 예정된 음성 데이터 패킷 수신과 실제 패킷 수신 사이의 편차이다. 예를 들면, 그림 20에 나타나듯이 송신자가 패킷 A, B, C를 균일한 시간 간격($= D_1$)으로 송신했으나 네트워크의 트래픽 상태에 따라 전달지연 및 처리지연이 균일하지 않으므로 패킷 A, B, C가 수신자에 도착하는 시간 간격이 균일치 못하다.(예 : $D_2 \neq D_3$) 통신기기는 이 지터를 해결하기 위해 지터 버퍼(Jitter Buffer)를 설정해 수신자 측에서 패킷의 간격을 균일하게 만든다. 또한 음성 품질에 중요한 영향을 끼치는 것으로 에코(Echo)가 있는데 본 실험에서 사용한 음성 DSP 칩은 에코 캔슬러를 지원함으로써 이번 실험에서는 고려하지 않았다.

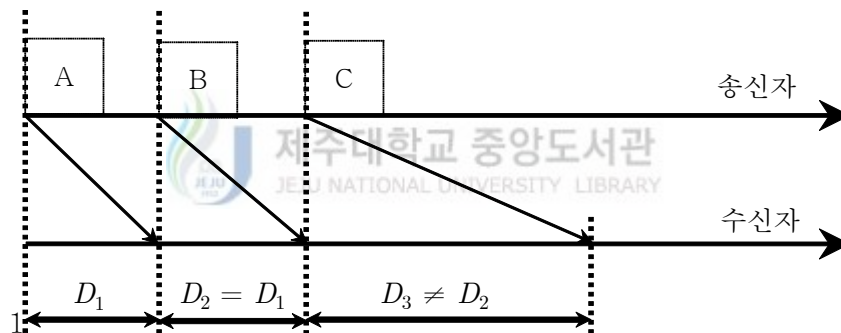
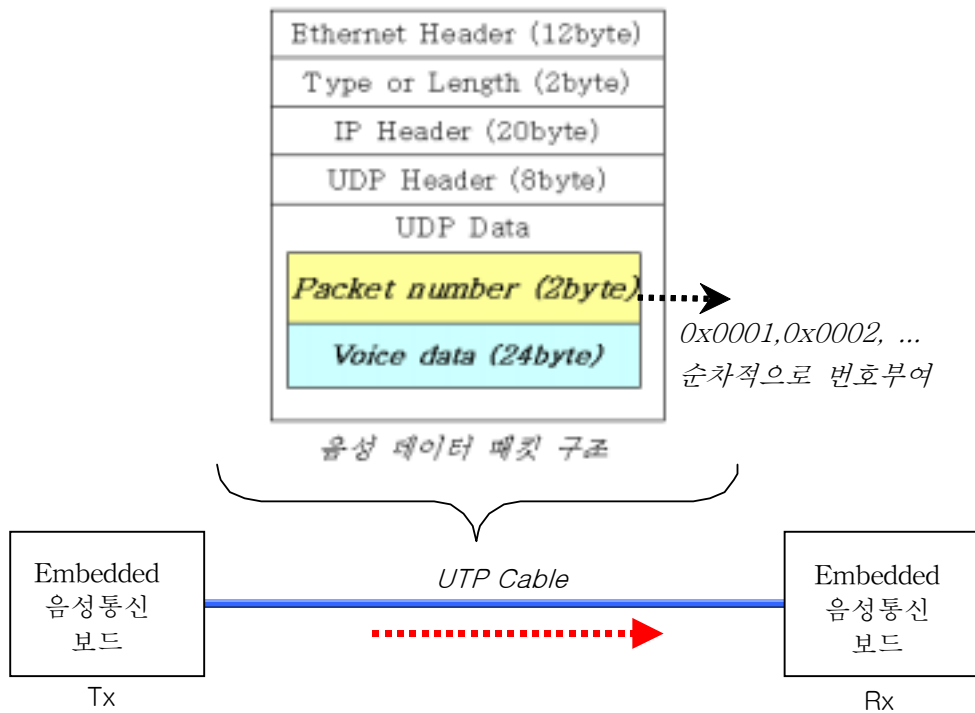


Fig. 20. Jitter generation

지연은 데이터 네트워크에 음성 데이터를 통합하기 위한 통합 네트워크를 설계할 때 가장 중요하게 고려해야 할 점이다. 그러므로 이번 실험에서는 음성 데이터 전송에 걸리는 지연 시간을 측정함으로써 전력선 통신이 음성 통신에 적합한지 여부를 검증하였다.

3) 실험 분석방법

앞에서 살펴본 이론에 근거하여 몇 가지 실험방법을 설정하였다. 첫째



송신측 Packet number

수신측 Packet number



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

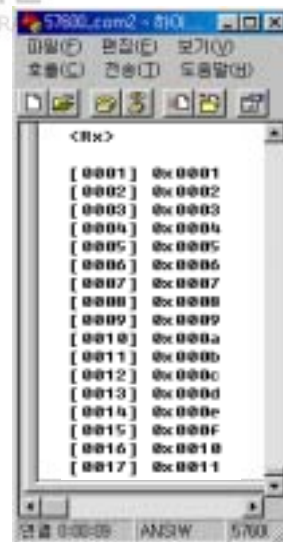
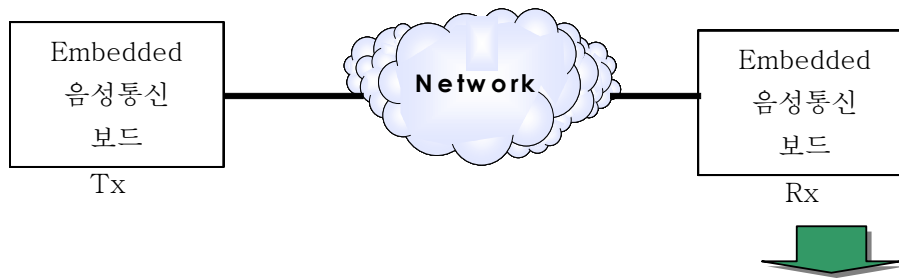


Fig. 21. Measuring method for packet loss

로는 음성 데이터의 손실 여부를 측정하였다. 그 방법으로 음성 데이터 패킷에 헤더를 부착하여 전송하게 하였다. 그러면 수신단에서는 패킷의 헤더를 분석함으로써 그 손실 여부를 알 수 있다. 또한 이것은 패킷의 순서가 바뀔 없이 순차적으로 오는지도 알 수 있다.

그림 21은 음성데이터 패킷 손실을 측정하기 위한 방법으로 음성데이터



MCU 내부의 타이머를 구동하여 수신단에서의 패킷 수신 시간 측정

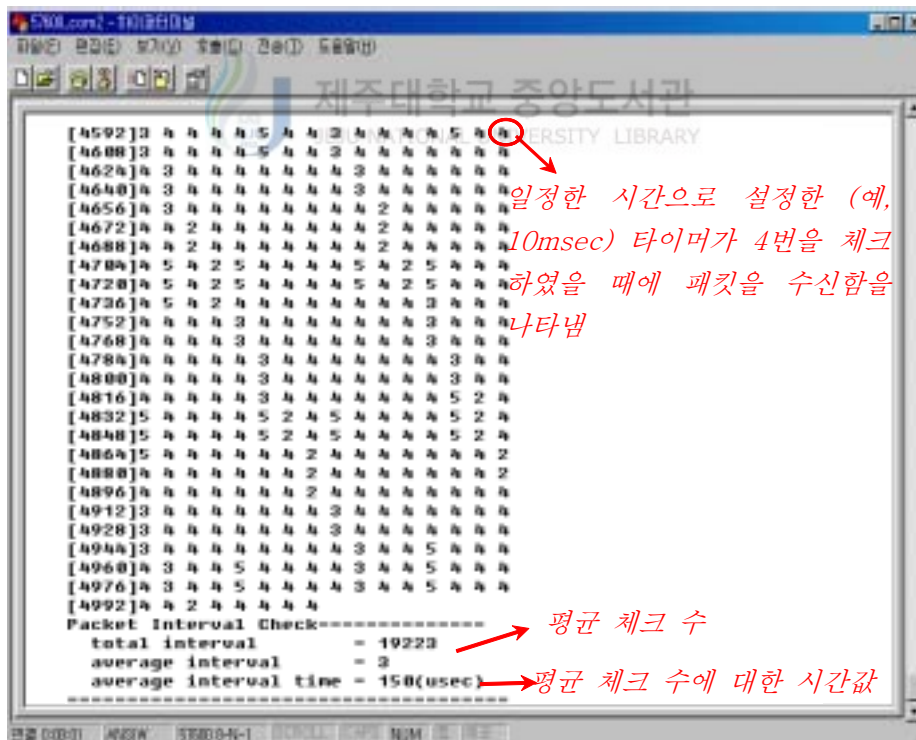


Fig 22. Measuring method for latency and jitter

패킷은 78바이트를 사용하였으며 실험을 위하여 패킷번호(2바이트)를 헤더에 삽입하여 통신하였다.

두 번째로 그림 22와 같이 패킷의 수신시간(즉 지연시간)과 그 패킷간의 간격(즉 지터)에 대한 실험을 하였다. 송신 측에서는 30msec 간격으로 패킷을 전송한다고 가정한다. 이는 음성 DSP 칩이 30msec 간격으로 음성을 압축하기 때문이다. 이 외의 처리에 대한 지연은 고려하지 않았다.

이 때 수신 측에서는 MCU에 내장된 타이머를 사용하여 패킷의 수신 간격을 측정하였다. 타이머를 10msec 간격으로 설정하여 구동시키면, 타이머는 10msec 간격마다 인터럽트를 발생시킨다. 이 때에 패킷이 수신되었는지 여부를 측정하여 간접적으로 수신시간을 측정하였다.

3. 통신방식별 결과분석



기존의 이더넷망을 이용하여 통신하였을 때와 전력선을 이용하여 통신하였을 때를 비교하여 본다. 이를 위해 전력선을 이용하는 경우 거리별 및 전력선에 타 전력기기를 연결 또는 연결하지 않은 상태에서 패킷손실, 평균지연시간, 평균지터를 측정하였고 통화실험을 하였다. 실험에는 OFDM 변조방식 모델과 DMT변조방식 모델을 이용하여 실험하였으며, 변조방식에 따른 성능 비교는 기술적으로 어려움이 있어 고속통신의 가능성만을 실험 하였다.

1) VoIP보드-to-VoIP보드

그림 23은 VoIP보드와 VoIP보드간 UTP케이블로 직접 연결된 단방향 통신(Tx->Rx) 시스템의 구성을 나타내었다. 실험결과를 모니터링하기 위

하여 VoIP보드와 PC간 연결은 RS-232C를 이용하였다.

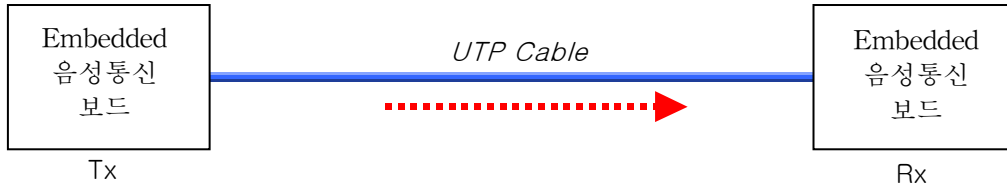


Fig. 23. Unidirectional communication on VoIP board-to-VoIP board condition

Table 8. Values measured on VoIP board-to-VoIP board condition

패킷손실(packet)	평균지연시간(ms)	평균지터(ms)
0	30	2.8

표 8은 VoIP보드와 VoIP보드간 UTP케이블로 직접 구성하여 단방향으로 데이터를 전송하였을 때의 실험결과이며 이때 패킷손실은 없었으며 평균지연시간이나 평균지터가 조금 나타났다.

2) VoIP보드-PLC모뎀-VoIP보드

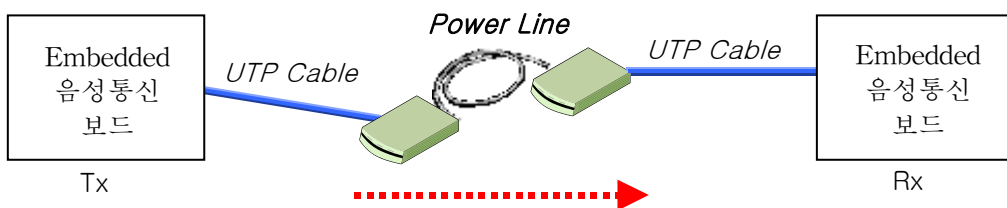


Fig. 24. VoIP board-PLC modem-VoIP board(load free)
(unidirectional communication)

그림 24는 VoIP보드와 VoIP보드사이에 PLC모뎀과 50m의 전력선으로 구성된 단방향으로 데이터를 전송하는 구성도이다. 이때 전력선은 AC 220V의 상태이고 VoIP보드와 PC사이는 RS-232C케이블로 구성하였으며 송신측 PC에서 데이터를 전송하고 수신측 PC에서 데이터를 수신하였으며 두 가지 종류의 모뎀을 이용하여 실험을 하였다.

Table 9. Values measured on VoIP board-PLC modem-VoIP board condition (load free, unidirectional communication)

구분	패킷손실(packet)	평균지연시간(ms)	평균지터(ms)
A모뎀	0	42	0.7
B모뎀	0	41	5.2

표 9는 그림 24 실험에서 단방향으로 데이터를 전송하였을 때의 결과로 패킷손실은 없었으며 B모뎀에서 평균 지터가 조금 높지만 우려할 만한 수준은 아니다.

3) VoIP보드-PLC모뎀-VoIP보드(단방향 통신)

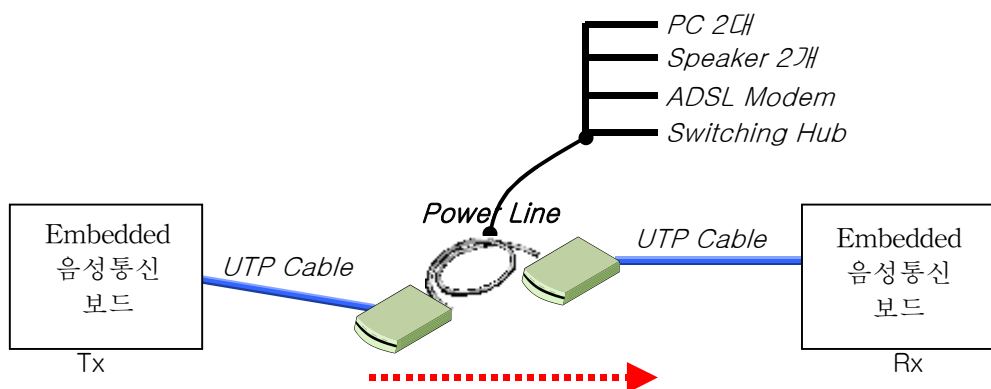


Fig. 25. PLC modem-power line- PLC modem(loaded)

그림 25는 모뎀과 모뎀사이의 전력선에 타 전력기기를 연결한 후 단방향으로 패킷을 전송하여 실험하는 구성도이다.

Table 10. VoIP board-PLC modem-VoIP board(loaded, unidirectional communication))

구분	패킷손실(packet)	평균지연시간(ms)	평균지터(ms)
A모뎀	0	42	0.3
B모뎀	0	42	5.2

※ 실험조건 : 전력선 거리 : 50m, 타 부하설비로 PC 2대, Speaker 2개, ADSL모뎀 1대, SwitchingHub 1대연결

표 10은 그림 25의 실험에서 단 방향으로 데이터를 전송하였을 때의 실험결과이며 이때 측정되어진 데이터들은 타 전력기기가 연결되지 않은 상태에서의 실험결과와 별 차이가 없음을 확인하였다.

4) VoIP보드-PLC modem-VoIP보드(양방향 통신)

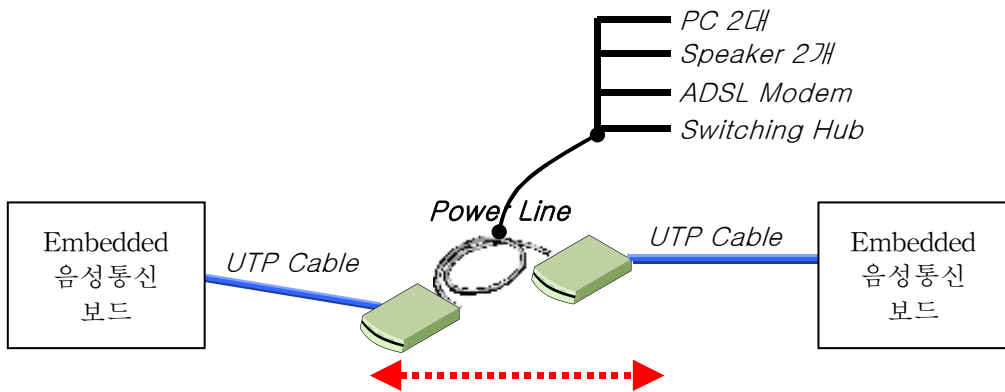


Fig. 26. PC-PLC modem-power line- PLC modem-PC
(loaded, bidirectional communication)

그림 26은 VoIP보드와 VoIP보드사이에 PLC모뎀과 전력선으로 구성하고 전력선에 타 전력기기를 연결한 상태에서 양 방향통신으로 실험하는 방법이다. 또한 이 실험을 모니터링하기 위하여 VoIP보드와 PC간에 RS-232C로 구성하였으며 양 방향에서 데이터패킷을 전송하여 실험하였다.

Table 11. PC-PLC modem-PC(loaded, bidirectional communication)

구 분	패킷손실(packet)	평균지연시간(ms)	평균지터(ms)
A모뎀	0	33	1.8
B모뎀	0	60	12.9

※ 실험조건 : 전력선 거리 : 50m, 타 부하설비로 PC 2대, Speaker 2개, ADSL모뎀 1대, SwitchingHub 1대연결

표 11은 양방향으로 데이터를 전송하였을 때의 실험결과이다. 실험결과 IXIA 400 장비를 이용한 표 3의 측정 데이터와 비교해 볼 때 음성통신인 경우 헤더 및 음성데이터를 포함하여 약 78byte의 데이터 크기를 가지고 있으며 일반적으로 음성통신의 경우 초당 33frame을 생성한다. 이때 음성의 압축방식에 따라 패킷의 크기는 차이가 나지만 G723.1의 경우 표 12에서와 같은 패킷의 크기로 생성되며 이때 IXIA 400장비의 측정결과를 살펴보면 64byte일 경우 초당 668개수이며, 128byte의 패킷의 경우 663개

Table 12. Comparison of the number of packet in VoIP with the one in high speed PLC modem

구 분	성능지표 (64byte)	VoIP (78byte)	성능지표 (128byte)	비 고
패킷수	668	33	663	

※ 표 12에서 성능지표는 표3에서 64byte 와 128byte 인 경우에 해당됨.

의 패킷을 전송할 수 있다. 그러므로 VoIP통신에 있어서 33frame정도의 크기는 100퍼센트 전송이 보장된다. 따라서, 전력선 모뎀을 이용한 통신의 경우 어느 일정거리 이내에서는 속도, 패킷손실, 지터에 문제가 되지 않는다.



V. 영상통신시스템 구현 및 실험

1. 영상전송 실험환경

	
<p>① 전력선 : 25M * 2Roll 50M * 1Roll - VCTF전선(2.0mm*2C,삼성)</p>	<p>② Embedded 영상통신보드 - MPEC4 영상 모듈, Ethernet 통신 모듈탑재</p>
	
<p>③ OFDM 변조방식을 채용한 고속 PLC 모뎀</p>	<p>④ DMT 변조방식을 채용한 고속 PLC 모뎀</p>

Embedded 영상통신보드 사양

- 200MHz, 32bit, Flash for s/w: Strong Arm Core
- Input Video Type : 4ch NTSC/PAL
- Recording Rate : NTSC 30fps, PAL 25fps

Fig. 27. Test devices for image transmission

그림 27은 전력선위에서 고속 전력선모뎀을 이용하여 영상통신 시스템을 구현하기 위한 장비들이다.

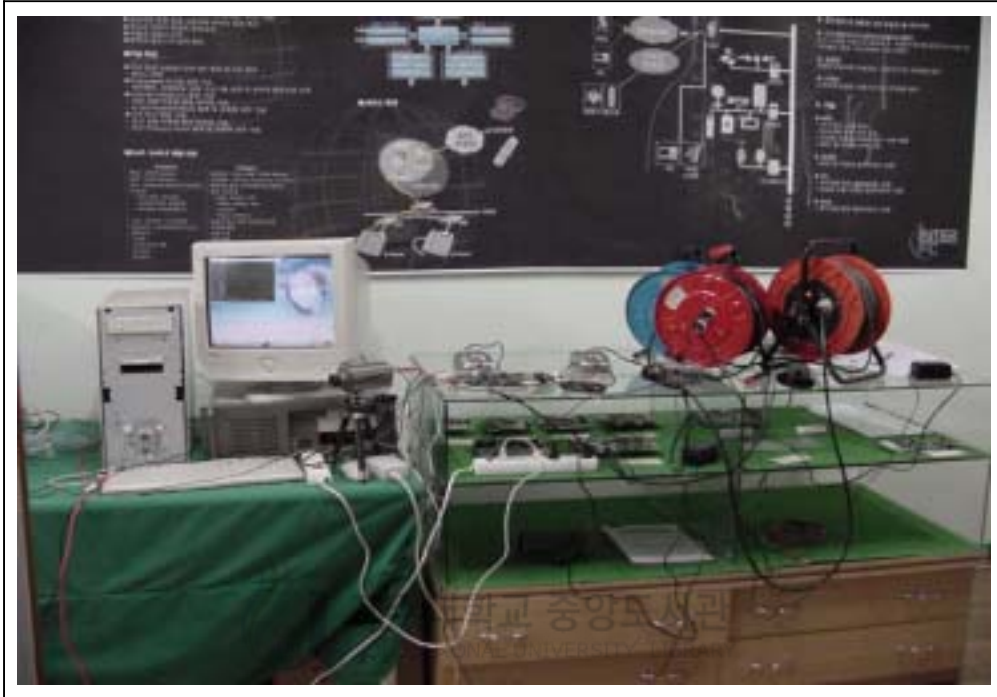


Fig. 28. Image transmission using PLC

그림 28은 그림 27의 실험장비로 회로를 구성하였으며 이때 전력선은 50m 및 100m까지 연장하여, 4대의 웹카메라를 이용하여 전송실험을 하였다.

2. 실험 방법

1) 실험구성

- (1) Embedded 영상통신보드와 고속 PLC 모뎀을 사용하였으며 영상 전송거리는 고속 PLC간 전력선 (VCTF 2.0mm*2C) 100 m를 연결한다.
- (2) 4대의 카메라를 4채널 지원이 가능한 Embedded 영상통신보드에 연결다.
- (3) 4대의 카메라로 동시에 영상을 촬영한다.
- (4) PLC 모뎀을 통하여 LAN망으로 전송한다.
- (5) LAN망을 통하여 전송되어진 영상은 클라이언트 PC 등을 통해 수신하고 실시간으로 끊김 현상없이 동영상이 수신되는지를 확인한다.

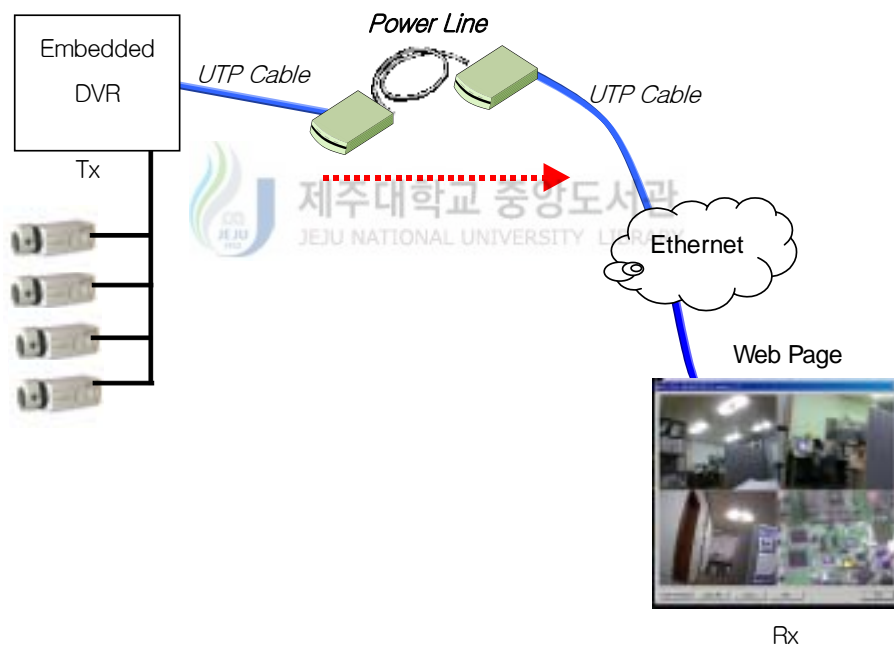


Fig. 29. Image transmission by using 4 cameras

그림 29는 웹 카메라 4대를 이용하여 전력선통신을 이용하여 영상전송을 구현한 모습이며 영상 처리 순서는 다음과 같다.

- (1) Camera에서 촬영한 영상을 Embedded 영상 보드로 보낸다.
- (2) 입력된 아날로그 영상신호를 디지털 신호로 변환한다
- (3) 4Ch를 일정순서로 Multiplexing 한다.
- (4) Mpeg 4 압축알고리즘으로 영상데이터를 압축한다.
- (5) 외부로 전송한다.

3) Embedded 영상 보드에서의 처리과정

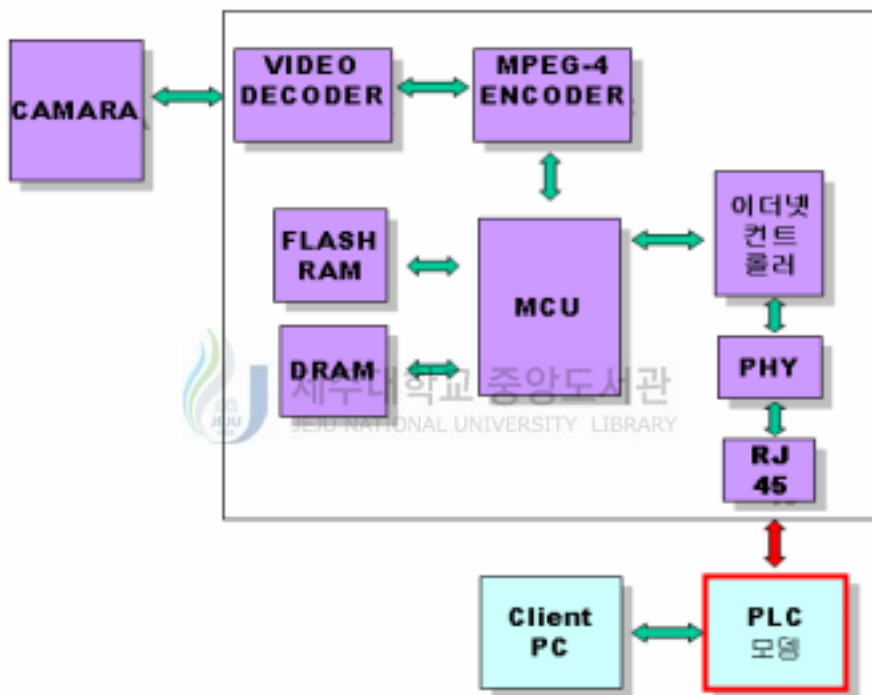


Fig. 30. Embedded image board block diagram

그림 30은 웹 카메라로부터 수신된 영상이미지를 PLC모뎀을 통하여 클라이언트PC까지 전송하는 과정을 나타낸 블록도이며 처리과정은 다음과 같다.

- (1) 4개의 카메라로부터 영상 이미지를 입력받는다.

- (2) 입력된 영상 이미지는 MPEG-4로 압축된다.
- (3) 압축된 영상 데이터는 Ethernet Packet화 되어 Ethernet 블록을 통해 Client PC로 전송된다.
- (4) PC에서는 Embedded 영상 보드로 접속하여 전송된 영상을 실시간으로 확인할 수 있다.

3. 영상전송 실험결과

Table 13. Measurement of image transmission speed using PLC

구분	채널번호	전송시간 (sec)	용량(Kbyte) 2회 전송		평균 전송속도 (kbyte/sec)
PLC 모뎀 없이	Ch1	20	270	268	13.45
	Ch2	20	385	361	18.65
	Ch3	20	200	200	10
	Ch4	20	284	268	13.8
	평균		284.75	274.25	13.98
PLC 모뎀 사용	Ch1	20	230	229	11.475
	Ch2	20	387	303	17.25
	Ch3	20	164	164	8.2
	Ch4	20	175	169	8.6
	평균		239	216.25	11.38

※ 1) 실험조건 : 웹카메라 4대를 이용한 영상전송, 전력선100m

표 13은 영상통신보드와 클라이언트PC 사이에 UTP케이블로 직접 연결하였을 경우와 고속 전력선통신으로 구성하여 영상을 전송하였을 때의 전송속도 실험결과이다. PLC모뎀 없이 영상통신보드와 PC를 직접 연결하여 전송한 결과 평균 전송속도는 초당 13.98Kbyte로 나타났으며 이는 실시간으로 촬영되어지는 영상을 2회에 걸쳐 전송하고 평균값으로 산출하였다. 또한 PLC 모뎀을 사용하여 실시간으로 촬영되어지는 영상을 영상통신보드와 PC사이에 전력선 100m로 구성하여 전송한 결과 전송속도는 초당 11.38Kbyte로 나타났으며 이는 실시간으로 촬영되어지는 영상을 2회에 걸쳐 전송하고 평균값으로 산출하였다. 따라서 PLC모뎀을 사용한 경우와 사용하지 아니한 경우를 비교하여 보면 전송속도 면에서 볼 때 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

영상인 경우 코덱의 특징에 의해서 영상의 움직임에 따라 보내는 데이터의 크기가 달라지게 된다. 즉 많은 움직임이 있는 경우 보내지는 영상데이터는 프레임의 크기가 커지게 되지만 움직임이 없는 영상인 경우에는 프레임의 크기가 작아지게 된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 전력선통신 기술의 표준화에 앞서 전력선 통신장비들이 개발되어 출시되고 있는 시점에서 고속전력선 통신 모뎀의 성능을 측정하였다. 이러한 고속전력선 모뎀을 이용하여 VoIP 및 영상시스템을 구현하여 그 수행결과를 측정하였다.

전력선통신 모뎀의 성능 측정방법으로 RFC 2544에서 권고하는 네트워크 성능 지표중 일대일 처리율, 지연율, 프레임손실, 일대다 처리율, 다대일 처리율에 대하여 측정하였으며, IXIA400장비와 DMT변조방식의 모뎀을 이용하였다. 성능측정 결과 한대의 모뎀에서 한대의 모뎀으로 프레임 전송시 6.6Mbps까지 속도지원이 가능 하였고, 한대의 모뎀에서 3대의 모뎀으로 프레임 전송시 5Mbps의 속도를 지원하였으며, 3대의 모뎀에서 한대의 모뎀으로 프레임 전송시 1.8Mbps의 속도가 지원됨을 확인할 수 있었다.

전력선통신 모뎀을 이용하여 음성통신 시스템을 구현하였다. 실험결과 프레임 크기로 비교하여 볼 때 100% 전송이 보장됨을 알 수 있었다. 따라서 음성 통화용 시험 모델은 전력선상에서 VoIP시스템 구현시 안정된 통화품질을 확인 할 수 있었으며, 지연시간의 측정에 있어서는 단방향과 양방향 둘 다 실시간 전송에 필요한 지연시간을 충족하였다.

영상통신시스템을 구현함에 있어 IP 기반의 웹 카메라와 4채널 지원이 가능한 영상통신보드를 이용하여 영상보드와 PC사이에 100m의 전력선과 PLC모뎀으로 구성하여 동영상을 전송한 결과 PC를 직접 연결한 경우의 전송속도와 큰 차이가 없었다. 따라서 화상이미지를 전송함에 있어서도 필요한 전송속도를 충분히 만족함을 알 수 있었다. 따라서 고속 PLC모뎀에 의한 전력선 통신망은 음성이나 영상을 전송하는데 필요한 충

분한 대역폭과 전송속도를 가짐으로 기존의 전력선으로 새로운 통신 망을 구성할 수 있음을 확인하였다.



參考文獻

- IEE Japan, ISPLC2003, Proceedings of the 7th International Symposium on Power-Line Communications and Its Applications, 2003.3
- Klaus Dostert, Power Line Communications 2000.10
- PLC Forum/KOREA, THE 2nd PLC Forum/KOREA, International Symposium 2002.6
- 대한전자공학회, “CDMA통신”, 청문각, 1998
- 대한전자공학회, 2002년도 대한전자공학회 추계학술대회
(통신소사이어티 및 신호처리소사이어티 합동학술대회 논문집, 2002.11)
- 한국전기연구원, 50Mbps급 고속전력선통신망 기술개발, 2002.9
- 한국전기연구원, 2002, 전력선통신장비의 공인시험방안에 관한 연구
- 한국전기연구원, 전력기술동향, 2002.6
- 한국전기연구원, 고압배전선로를 이용한 고속전력선 통신망개발, 2002.9
- 전자신문사, 인터넷전화(IP Telephony) 2002.1, 유승화
- 전기연구원, 50Mbps급 고속전력선 통신망 기술개발 제7차 기술교류회, 2003.1
- 전력연구원, 고속전력선 가입자망 개발, 2001.9
음성모뎀의 구현에 관한 연구, 국민대학교 석사학위 논문
- 전력선통신(PLC) 기술교류를 위한 VoIP기술 세미나, 2003. 2
전기연구원
- 전력연구원, 고속전력선 통신을 이용한 원격자동화기술개발, 2001.9
- 김정훈, 2001, 고속전력선통신을 위한 채널 모델링과 멀티캐리어 변조기법 분석, 경남대학교 석사학위 논문
- 고속 전력선 통신기술 동향 한국전기연구원, 김관호

- 이정우, 2001, 고속전력선 통신을 위한 OFDM 방식의 모뎀설계, 아주대학교 석사학위 논문
- 이정훈, 2000, 전력선통신을 위한 광대역 CDMA 통신 시스템에 관한 연구, 성균관대학교 석사학위 논문
- 오경양, “임펄스 무선신호 전송방식의 SS/CSK 전력선 전송”, 경남대학교 박사학위논문, 1999.
- 박지훈, 2000, 고속 데이터 통신을 위한 전력선 특성에 관한 연구, 서울대학교 석사학위 논문
- 서봉석, 2000, 전력선을 이용한 통신기법 성능비교, 한양대학교 석사학위 논문
- 켈라인, 저압전력선망을 이용한 고속전력선통신 시스템 개발 중간보고서, 2002.9



부 록

I. 고속 PLC모뎀의 기본구조

1. OFDM변조방식을 채용한 고속 PLC모뎀

▣ 구조

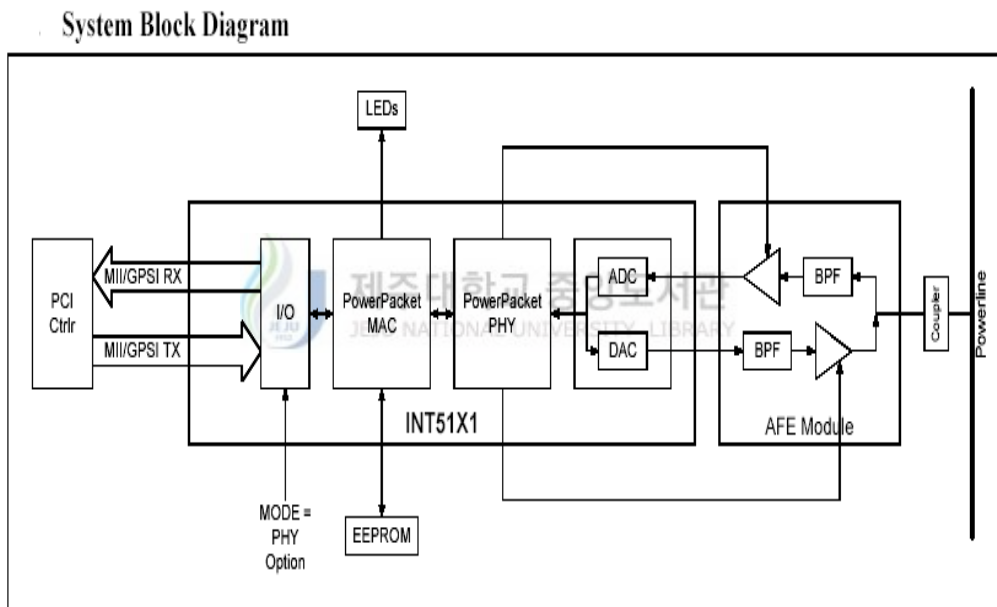


Fig 1. System block diagram of A company's PLC modem

▣ 특 징

Table 1. Characteristics of A company's high speed PLC modem

구 분	특 징
전송속도	최고 14Mbps
OFDM변조	- 84캐리어 - 자동채널 선별 - 전진에러 수정
주파수대역	4.3MHz ~ 20.9MHz
캐리어 변조방식 적용	DQPSK, DBPSK, ROBO
매체 접근방식 적용	CSMA/CA
동작 주파수	100 MHz
FCC Part 15 emission 표준에 부합	
10-Bit ADC/DAC, AGC(Auto Gain Control) 내장	
Homeplug 1.0 기준으로 제작	
선택적 MDI/SPI Phy chip	
PHY and MAC	
가변적인 전송 채널 선택으로 최적의 전송환경 유지	
선택적 MDI/SPI Phy chip	

■ 패킷구조

- 5부분(Delimiter, Header, Body, CheckSec, Delimiter)

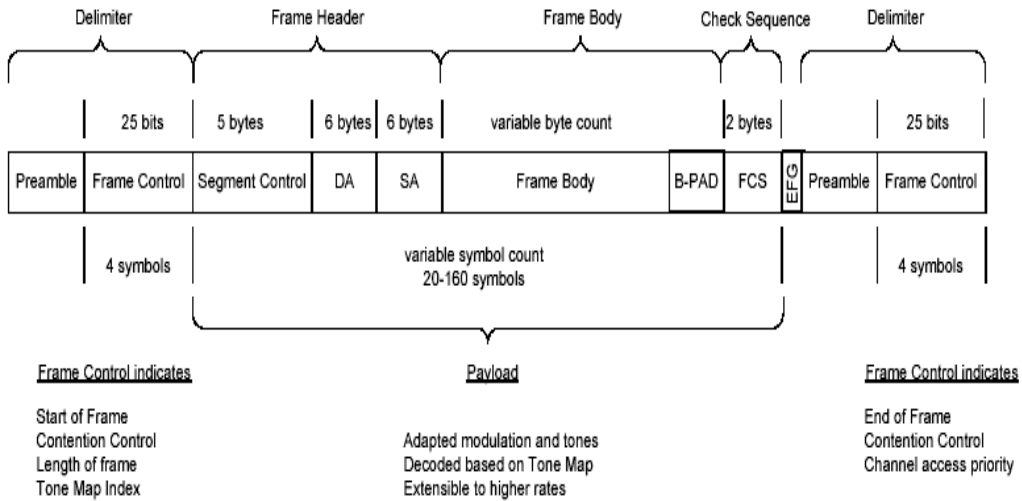


Fig 2. Packet block of A company's PLC modem



2. DMT변조방식을 채용한 고속 PLC모뎀

■ 구조

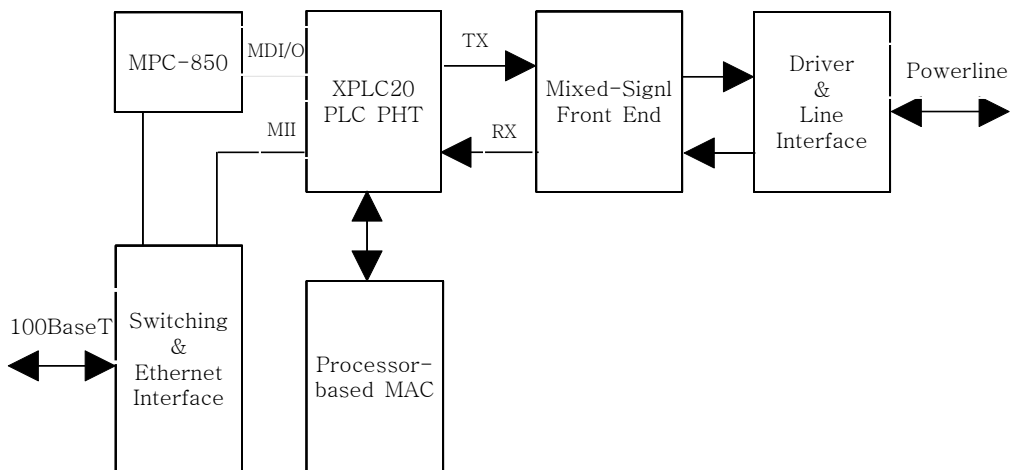


Fig 3. System block diagram of B company's PLC modem

▣ 특 징

Table 2. Characteristics of B company's high speed PLC modem

구 분	특 징
전체 주파수 범위	D.C. ~ 20MHz
변조	DMT(Discrete Multitone)
FFT 크기	512
부캐리어의 수	256
부캐리어의 간격	78.125KHz (=> 20MHz/256)
사용된 부캐리어 최대 개수	20MHz/256
부호 지속시간	15.6usec
부호율	64.1KHz
각각의 부캐리어 변조	D-BPSK, D-QPSK, D-8PSK
FEC 부호율	convolution code(1/2 or 3/4), RS code with interleaver
매체접근제어 프로토콜	CSMA/CA

감사의 글

직장생활을 하면서 20여년 만에 다시 학생으로 돌아가 공부를 한다는 것이 그리 쉬운 일은 아니었지만 크나큰 행운이라 생각하고 배우고자 하는 열망으로 늦게나마 시작한 공부였기에 많은 보람을 느꼈습니다. 그리고 또 다른 도약의 계기가 된 세월이었다고 자부하며 작은 결실이나마 본 논문에 남기게 된 것을 매우 기쁘게 생각하면서 이번 기회가 앞으로 많은 도움이 될 것으로 확신합니다.

본 논문이 완성되기까지 부족한 나에게 깊은 애정과 세심한 배려로 격려를 아끼지 않으셨던 임재운 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 바쁜 시간을 쪼개가면서 논문심사를 맡아 많은 조언을 주신 김홍수 교수님과 문건 교수님, 학업을 무사히 마칠 수 있도록 가르침을 주신 이용학 교수님, 강진식 교수님, 양두영 교수님께 깊은 감사를 드리며, 논문작성에 있어 고민과 어려움을 해결하는데 도움을 아끼지 않았던 인터에프씨 한재오연구원, 강진아연구원 그리고 김창윤 사장님을 비롯한 직원 여러분께도 감사드립니다.

또한 제주대학교 산업대학원 석사과정을 무사히 마칠 수 있도록 시간을 배려해 주신 강성철 부장님, 그리고 함께 동고동락 하면서 호흡을 같이 하였던 한전 제주지사 전자제어부 직원 여러분께도 깊은 감사를 드립니다.

끝으로 오늘의 작은 결실이 있기까지 내리사랑으로 큰 버팀목이 되어주신 양가 부모님과 형 대신 집안일 모두 챙기던 동생 병구, 어려운 여건 속에서도 학업에 힘쓸 수 있도록 묵묵히 뒷바라지를 해준 아내 명숙, 공부 핑계로 한동안 함께 하지 못한 아빠를 이해 해준 아들 동현, 동욱에게 사랑과 고마움을 전합니다.