

특 집

HomePNA(Home Phoneline Networking Alliance) 기술

송상섭*, 최민호**

● 목 차 ●

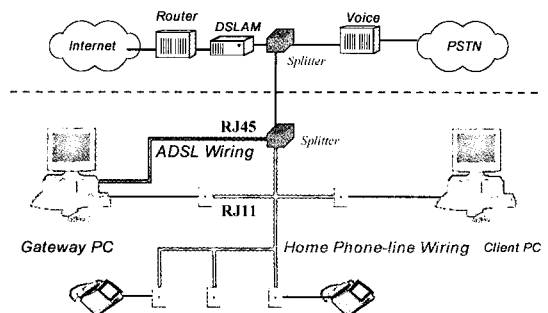
1. 개요
2. 맥내 선로 특성
3. HomePNA 1M8 PHY
4. HomePNA 10M8 PHY
5. 관련 제품
6. 결론

1. 개요

최근의 통신환경은 인터넷 서비스의 폭발적인 증가와 함께 가정에서도 PC를 포함한 각종의 정보화 기기의 수가 증가하고 있으며, 눈여겨 보아야 할 분야 중의 하나는 모든 가전, 통신 기기 및 PC 관련 제품들을 하나의 통합된 망에 연결하여, 이 기기들을 인터넷을 통해 제어하며, 서비스의 공유 및 상호 간의 데이터 전송을 가능하게 하는 홈 네트워크 분야일 것이다. 이에 따라서 정보통신부는 지난 2000년 3월, 인터넷 정보가전 산업 협의회를 구성하여, 홈 네트워크 및 사이버 아파트 구축을 위한 기술 개발 및 표준 제정을 위해서 5년 동안 약 1조 천억원의 예산을 투입하여 가전 시장의 경기 부양과 국민의 정보화 마인드 확산을 꾀하고 있다.

이러한 변화에 따라 1998년 7월 11개의 통신관련업체들(3Com, AMD, AT&T, Wireless, Compaq, Conexant, Epigram, Hewlett-Packard Co., IBM, Intel, Lucent Technologies, Tut Systems)이 참여하여 결성

된 Home Phone-line Networking Alliance (HPNA)는 현재에는 정보통신 하드웨어, 소프트웨어, 가전 분야의 100여개의 업체가 회원으로 참여하고 있다. HomePNA에서는 구내에 이미 설치된 전화선로를 이용하여 저비용으로 구내의 정보통신 기기들을 하나의 망에 연결하여 (그림 1)에 보인 것처럼 허브, 라우터 등의 별도의 장비 없이도 구내에 LAN을 설치하는 것으로서 이미 검증된 규격으로 업계의 표준(de facto)을 제정하여 장비 개발 시간 단축, 시스템의 복잡도 경감, 신속한 보급 및 다른 업체들의 장치간에 상호 연동을 위한 규격 제정 등을



(그림 1) Home Phoneline Network 구성

* 전북대학교 전자정보공학부 교수

** 전북대학교 전자공학과 박사과정

목표로 하고 있다. 현재 표준화된 규격은 데이터 rate 1Mbps의 HPNA 1.0(1999년 6월)과 최대 32Mbps의 HPNA 2.0(1999년 12월)이 있다[1].

2. 맥내 선로 특성

HPNA의 두드러진 장점은 기존의 맥내에 포설된 선로를 그대로 사용하여 장치 설치시 선로에 대한 추가의 비용이 적다는 것이다. 그러나 이더넷(Ethernet)에서는 거리 100m, 4-pair UTP-3/5 전용선, Hub-based star 형상의 양호한 선로 환경임에 비하여, HPNA의 경우 전화선의 전송손실이 크고 다수의 bridged tap이 존재하기 때문에 반드시 고려해야 할 중요한 사항으로서 선로에 전송되는 신호에 감쇄와 잡음을 유발하는 요인을 살펴보고 이에 대한 대책이 마련되어야 한다. 이러한 요인들을 아래에 열거하였다.

- HAM, Radio Frequency 등의 간섭
- 임펄스 잡음(dimmer, ADSL etc.)
- Bridged Tap에 의한 전송 특성 악화
- 인접 선로에 의한 누화(cross-talk), HPNA self-NEXT
- 전화기 사용에 의한 선로 특성변화

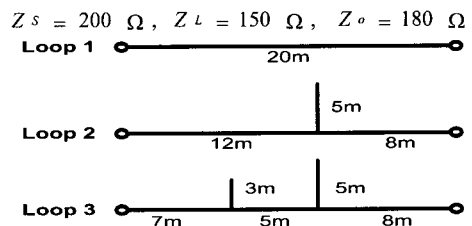
HAM에 의한 영향을 살펴보면, 사용 주파수 대역(HPNA 1.0: 5.5~9.5MHz, HPNA 2.0 : 4~10MHz)안에는 7.0~7.3MHz의 HAM 대역이 하나 들어 있으며, HPNA 노드로부터의 전력 방출(egress)은 HPNA 1.0의 경우 평균 -73dBm/Hz, 최대 -62dBm/Hz 로 제한 되어 있으며, 작동중인 HAM에 영향을 주는 노드는 전송을 중지해야 한다. 또한 HPNA 수신부는 HAM RF의 영향을 받지 않도록 설계되어야 한다. 결국 HAM에 영향을 주지도, 받지 않도록 설계 되어야 한다.

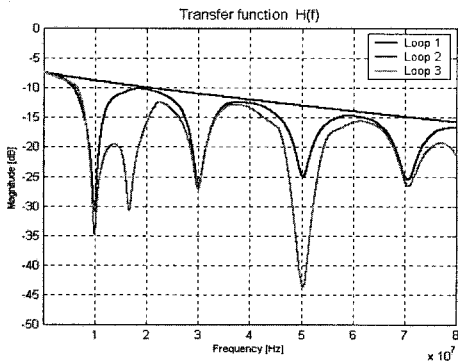
다음으로 구내의 선로에 영향을 미치는 임펄스(impulse) 잡음으로는 Local loop로부터의 잡음(분당

1~5회), 전화기의 후크-스위치(hook switch)에 의한 잡음, 구내의 가전 기기로부터 발생하는 잡음 등이 있다. 전등의 밝기 조절기로 사용되는 dimmer에 의한 임펄스 잡음의 크기는 14mV p-p, 60Hz 또는 2mV p-p, 120Hz이고 지속 시간은 3 μsec 정도이며, 선로의 길이가 짧아도 잡음이 전달되는 특징을 가지며, 가전제품을 켜고 끌 때에도 임펄스 잡음이 유발되므로 이에 대응할 수 있어야 한다.

Bridged tap에 의한 선로의 전송특성의 영향을 살펴보면, 길이 d 인 bridged tap이 개방된 경우에 $f = \frac{50}{d} \times (2n+1) \text{ MHz}$ $n=0, 1, 2, \dots$ 의 주파수에서 spectral null이 발생하여 신호의 손실이 증가한다. Bridged tap에 의한 영향을 줄이기 위해서는 사용하지 않는 bridged tap은 절단하거나 선로의 특성 임피던스에 맞추어 종단해야 한다. 선로의 특성 임피던스로 맞추어 종단해도 bridged tap의 길이에 비례하여 감쇄가 생기지만 종단하지 않는 경우에 비하여 신호의 감쇄를 훨씬 줄일 수 있다.

Bridged tap에 의해 신호의 감쇄 뿐만 아니라 지연 특성도 변화하며, 임의의 두 노드 사이마다 존재하는 bridged tap의 수, 종단 상태 및 길이 등이 서로 다르므로, 노드 사이마다의 전달 특성이 서로 다르다. 예로서 (그림 2)의 여러 loop에 대한 전송손실 특성을 그림 3에 예시하였다. Loop 1의 경우에는 bridged tap이 존재하지 않는 경우로서 주파수가 높아짐에 따라 전송 손실이 증가하는 선로의 전형적인 감쇄특성을 보이고 있으며, loop 2는 1개, loop





(그림 3) Bridged tap에 의한 전송특성

3의 경우는 중간에 2개의 bridged tap이 존재하여 해당 주파수가 겹치는 곳에서 spectral null이 발생하여 주파수가 높아짐에 따라 깊고, 넓어지는 양상을 보인다.

한편 이웃하는 선로에 의하여 서로 영향을 주고 받는 근단누화(Near End Cross Talk)가 발생한다. 이 근단누화의 특성은 시간에 따라 변하는 colored noise이고, 수신부의 수신감도가 너무 예민하면 영향을 받을 수 있다. 근단누화를 일으키는 Home PNA 이외의 다른 서비스, cross-talker 등의 관계를 정리하면 다음과 같다.

- power transfer function :

$$|H_{NEXT}|^2 = K_N \cdot f^{1.5}, \quad K_N : \text{근단누화 계수}$$

- n개의 cross-talker가 있는 경우 :

$$K_{Nn} = K_{N1} \cdot n^{0.6}, \quad K_{N1} : \text{cross-talker 1개인 때의 계수}$$

- 근단누화의 Power Spectral Density :

$$PSD_{NEXT} = |H_{NEXT}|^2 \cdot PSD_{disturber}$$

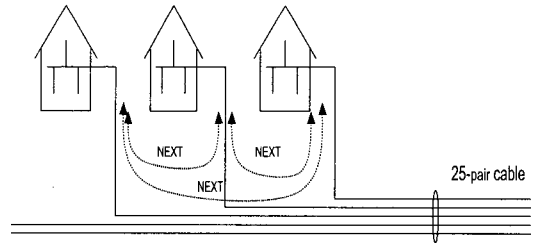
- $PSD_{disturber}$: 방해 신호의 PSD

- 근단누화 PSD의 총계 :

$$PSD_{NEXT\ total} = \sum_i^M PSD_{NEXT\ i} - PSD_{NEXT\ i}$$

서비스 i 의 근단누화 PSD

- M : 간섭을 일으키는 서비스의 수

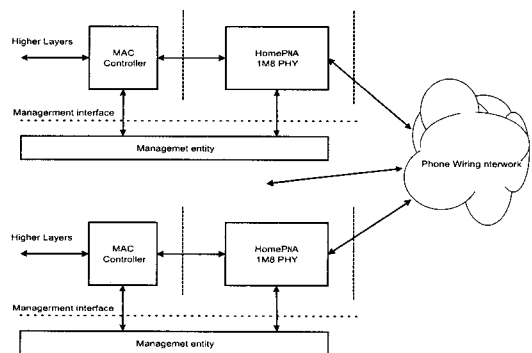


(그림 4) NEXT의 영향

그 밖에 댁내의 전화기에 의한 영향을 살펴보면 사용하지 않는 경우(on hook 상태) 전화기는 통상 200~500pF의 임피던스로 종단된 bridged tap으로 취급하지만, 전화기를 사용하는 경우(off hook 상태)에는 부하 임피던스가 매우 작은 bridged tap으로서 작용하여 거의 단락 상태가 되며 신호의 크기가 매우 작아지기 때문에 전화기 다음 단의 선로는 전송손실이 매우 커진다.

3. HomePNA 1M8 PHY[2]

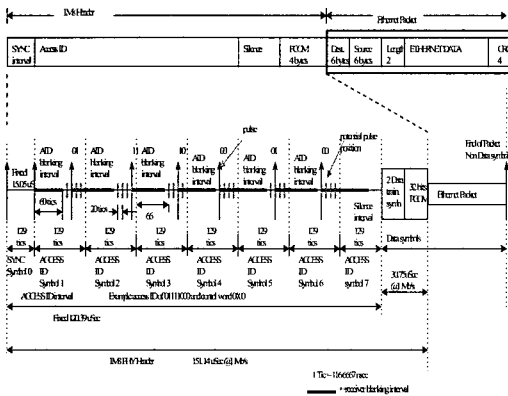
HomePNA 규격 1M8 PHY specification ver 1.1에서는 물리계층 장치의 규격을 규정하고 있으며 그림 5와 같이 물리매체 접속(physical medium interface), 이더넷 MAC 제어기 유닛과의 접속, 관리 접속(management interface)의 3부분으로 구성되어 있다. HPNA 1.1의 물리계층 규격은 Tut 시스템



(그림 5) HomePNA 1M8 PHY 기준 모델

의 기술을 적용한 제 1세대의 규격으로서 5.5~9.5MHz의 주파수 대역을 사용하여 500ft 이내의 거리에서 데이터 rate 1Mbps를 제공하도록 규정하고 있으며, MAC 프로토콜로서는 IEEE 802.3 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection)를 사용하는 것으로서 맥내의 전화선으로 이더넷을 구성하는 것으로 생각할 수 있다. 규격의 개략적인 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 5.5MHz~9.5MHz
- 기계적 요구사항 : RJ11 MDI connector 사용
- Data rate : 1Mbps
- MAC : IEEE 802.3, CSMA/CD
- 작동 거리 : 25 node, 거리 500 ft(150 m)
- FCC Part 15 class B, FCC Part 68 적용
- 두 node간 최대거리 : 500ft(150m)
- 망 형상 : general tree
- Cable type : UTP and flat-pair
- Node 임피던스 : 100~600Ω



(그림 6) HPNA 1.0 framing

3.1 물리매체 접속

- 프레임 구성 : 프레임은 1M8 PHY header 부분과 이더넷 패킷부분으로 구성
- Bit 전송순서 : LSB부터 전송
- 전송 symbol 파형 : 휴지구간과 중심주파수 7MHz인 구형파 펄스의 4주기 구간으로 구성
- Access ID interval : AID symbol의 길이는 129TIC(Time Interval Clock = 116 ns)이고, AID 구간은 8개의 AID symbol로 구성된다.
- Data symbol : pulse position modulation 방식을 사용하며, 입력 bit의 형태에 따라 송신 pulse 위치가 25개 중 한 곳으로 정해지며 (run-length limited code), 데이터율에 따라서 pulse의 시작 위치도 달라진다.
- 전기적 규정 : 중심 주파수 7.5MHz, 점유대역

3.2 MAC 접속

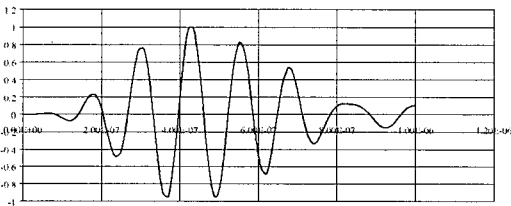
- 접속 신호 : MAC 제어기와 접속하기 위한 신호 7종 규정
- Frame 구성 : 802.3 Ethernet MAC과 접속하는 프레임 규정
- Timing : MAC과 접속하기 위한 송수신 클럭의 변수 값 규정

3.3 관리 접속

- Master : AID 0xFF를 가진다.
- Slave : AID 0x00~0xEF 사이의 값을 가진다.
- Reserved AID : 0xF0~0xFE 값은 reserved 되어 있다.
- AID 통하여 명령어를 보내고 관리 메시지를 받는다. 마스터(Master)는 명령어를 내보내서 슬레이브(slave) 1M8의 version, 전력, 전송속도를 설정하고, slave는 이러한 상태를 master에게 알린다.
- Local management 기능 : 필수기능으로서 loop back, 송신속도 설정, 송신 전력 설정, reset, 프레임송/수신 등이 있고 선택기능으로서 마스터 명령어 전송기능, PCOM 쓰기/읽기, 최소수신 전력 레벨 설정등이 있다.
- Link integrity 기능

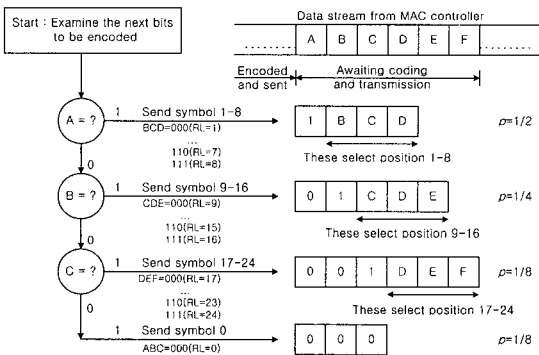
3.4 RLL25 code

데이터의 전송을 위한 송신기의 부호기는 RLL25 (Run-length Limited) 펄스 위치 변조(Pulse Position Modulation)을 사용하여 (그림 8)에 표시한 바와 같이 현재의 bit와 다음에 입력되는 데이터의 bit 형태에 따라서 펄스 위치가 정해지며 펄스 위치에 따라서 전송되는 데이터의 비트 수는 3~6 비트이다.



(그림 7) 전송 펄스 파형

데이터의 전송은 (그림 7)에 표시한 펄스를 사용하여, 60MHz를 7분주한 클럭의 1 주기의 간격 (116ns=1TIC)으로 펄스의 위치를 정하게 되어, 결국 $28 + m$ TICs의 형태로 펄스 위치에 따라서 지연이 발생한다.



(그림 8) RLL25 부호기

이의 관계로부터 최대 데이터율, 최소 데이터율 및 평균 데이터율은 각각 다음과 같다.

$$R_{MAX} = 4/[196/60 + 7/60] = 1.18 Mbps$$

$$R_{MIN} = 3/[196/60] = 0.918 Mbps$$

$$R_{av} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{8} \sum_{m=1}^8 \frac{4}{196/60 + m \cdot 7/60} \right] + \frac{1}{4} \left[\frac{1}{8} \sum_{m=1}^8 \frac{5}{196/60 + 56/60 + m \cdot 7/60} \right] + \frac{1}{8} \left[\frac{1}{8} \sum_{m=1}^8 \frac{6}{196/60 + 2 \cdot 56/60 + m \cdot 7/60} \right] + \frac{1}{8} \left[\frac{3}{196/60} \right] = 1.0432 Mbps$$

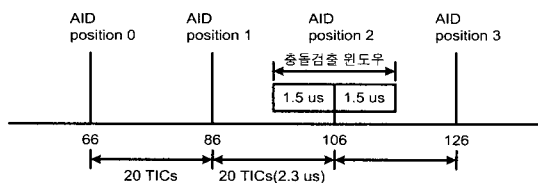
대역폭 효율은 $R_{av}/(9.5 - 5.5) = 0.26$ [bps/Hz]로서 대내 전화선로의 특성을 고려하여 전송효율이 매우 낮은 변조방식을 사용함을 알 수 있다.

<표 1> Runlength coding 예시

문자	H	o	m	e			
8진수 표시	110	157	155	145			
2진수 표시	01001000	01101111	11101101	01100101			
Grouping	01001:000	01101:1111	1101	1010:1100...			
펄스위치	9+1	0	9+5	1+7	1+5	1+2	1+4...
전송위치	10	0	14	8	6	3	5...

<표 1>에 "Home"의 4문자를 부호화하는 예를 보였다. 비트 그룹(Bit group)을 부호화한 위치 정보 (10, 0, 4,...)를 바탕으로하여 TIC 번호가 각각 28+10, 28+0, 28+14, ...일 때 (그림 7) 모양의 펄스가 전송된다.

데이터를 송신하는 경우 다른 장치가 선로를 사용하는 지를 알아내기 위하여 충돌을 검출한다. 프레임의 AID symbol 0~7 구간에서만 충돌을 검출하며 데이터 심볼 구간에서는 검출을 하지 않고 충돌



(그림 9) 충돌 검출

돌 검출 후에는 MAC으로부터 PHY로의 송신 enable 신호인 TXEN 신호가 deactivation 될 때 까지 JAM 신호(32TIC 마다 1개의 펄스)를보낸다.

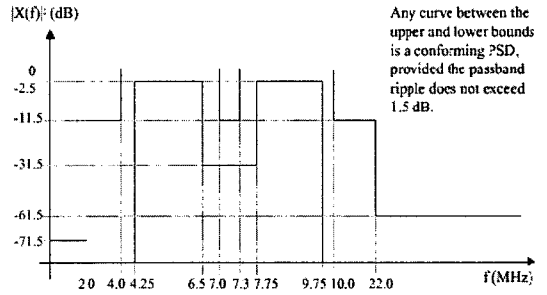
- POTS, V.90, ISDN, G.lite 등과 양립한다.
- 아마추어 무선 서비스와 양립하도록 해당 대역을 notching한다.

4. HomePNA 2.0 10M8 PHY [4],[5]

4.1 특징

1999년 12월에 발표 되었으며, 대내의 선로를 이용하여 4~32Mbps의 데이터율로 전송할 수 있으며 HPNA 2.0의 특징을 아래에 요약한다.

- 사용 대역 : 4~10MHz(그림 11 참조)
- 선로의 각종 잡음에 대한 보완
 - Rate negotiation: 4 Mbps~32Mbps
 - 변조방식 : QAM, Frequency Diverse QAM (2MBaud mode)
 - LARQ impulse noise control - lowering PER
- IEEE 802.3 MAC + Multimedia(voice, audio, video) 지원 강화
 - Binary exponential back-off 대신 distributed fair priority queuing back-off 채용
 - Priority queuing을 이용한 bounded latency
- 호환성 : H1.0 frame, H1.0 compatibility frames(gapped FDQAM), H2.0 native frame
- QOS를 8등급으로 구분, 최대지연을 엄격히 제한 하여 IEEE 802.3의 MAC을 보강하여 link layer가 stream mode의 audio, video에 적합하도록 하였다.



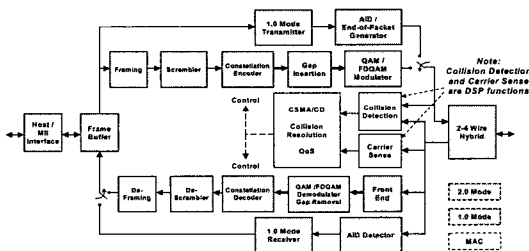
(그림 11) HPNA 2.0 PSD mask

4.2 프레임 구성

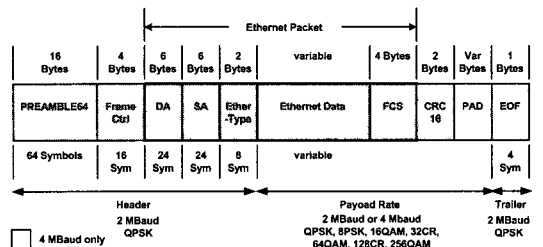
HPNA 2.0의 프레임 구조는 (그림 12)와 같이 preamble, frame control, Ethernet packet, CRC16, PAD, EOF로 구성되어 있다. Preamble은 QPSK symbol 64개(16개×4회)로 구성되어 있으며 다음과 같은 목적으로 사용된다.

- 전력추정, 이득조정
- Baud frequency offset 추정
- 등화기 training
- Carrier sense
- Collision detection

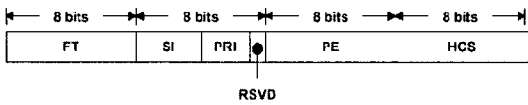
EOF는 QPSK symbol 4개로 구성되어 있으며 carrier-off를 검출하는데 사용한다.



(그림 10) HPNA 2.0 송수신기의 구성



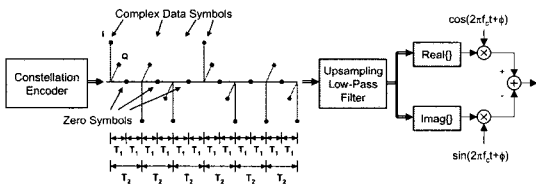
(그림 12) Frame format(2.0 mode)



(그림 13) HPNA 2.0 Frame control fields

프레임 제어 필드는 프레임의 형태(FT), scrambler의 초기화(SI), 우선순위 등급(PRI), payload encoding(PE) 등의 정보를 제공하며 CRC-8(HCS)을 사용하여 필드의 정보를 보호한다.

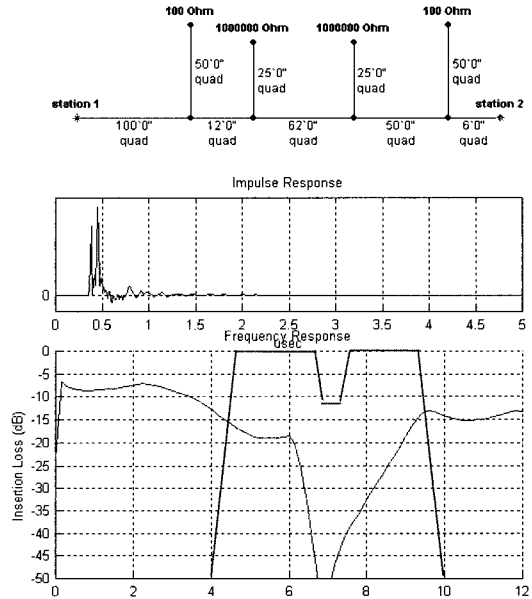
HPNA 1.0과 달라진 변조 방식으로서 패킷의 헤더(header)와 트레일러(trailer)는 QPSK를 사용하고, payload는 2MBaud mode일때 FD-QAM을 사용하여 최대 32Mbps까지 전송하고 4MBaud mode일때는 QAM을 사용하여 최대 32Mbps까지 전송한다. 두드러진 특징으로서 (그림 14, 15)에 예시한 바와 같이 데이터를 upsampling하여 QAM 변조하는 FDQAM을 사용하여 symbol rate은 1/2으로 줄지만 주파수 대역에 이중화가 추가되어, 같은 내용을 두개의 주파수 대역에 이중으로 전송한다[6]. 대역의 중앙에 나타날 수 있는 HAM, RF 등의 간섭이 적어지며 보통의 QAM을 사용하는 경우에 비해 noise margin을 증가시킬 수 있다. 또한 전송유류제어 등을 사용하지 않아 복잡도를 낮추었고, 한편 프로토콜의 단순화와 전화기의 사용 등으로 인하여 선로의 특성이 시간에 따라서 변화가 심하기 때문에 프레임마다 training을 하는 등화기를 사용한다.



(그림 14) FDQAM 변조기

(그림 15)에 선로와 신호의 스펙트럼을 보면 FDQAM 신호의 스펙트럼이 중앙의 'M'자 모양의

PSD mask(그림 11 참조)와 모양이 닮아 있음을 볼 수 있다.



(그림 15) FDQAM spectrum

4.3 MAC 및 Link 계층

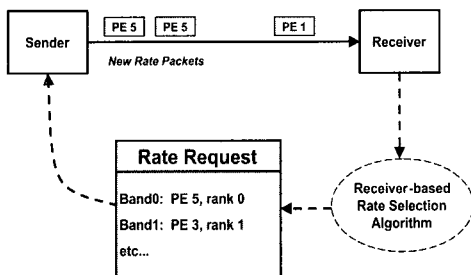
1.0 Mode 1.0 Compatibility	2.0 Mode
BEB Collision Resolution	DFPQ Collision Resolution
--None--	Priority
CSMA/CD Carrier Sense Deferral Collision Detection	
802.3 Link Level 802.3 Frame Format 802.3 Addresses 802.3 Broadcast, Multicast	

(그림 16) MAC의 구조

HPNA의 MAC은 기본적으로 IEEE Std 802.3 이더넷과 같다. HPNA 2.0에는 8 단계의 우선권 설정이 추가 되었으며, HPNA 1.0과는 충돌 검출 방식이 서로 다르다. HPNA 1.0의 충돌 검출방식 BEB(Binary Exponential Back-off)과 HPNA 2.0의 충돌 검출방식 Distributed Fair Priority Queuing (DFPQ)을 비교하면 다음과 같다.

- Binary Exponential Back-off
 - Excessive Collision Discards: e-mail 등에는 적합
 - Latency 변화가 커서 multimedia 서비스에 부적합
 - 먼저 충돌해서 재시도를 많이 할수록 latency가 커진다.
- Distributed Fair Priority Queuing
 - PRI(priority) 값을 이용하여 back-off level을 결정
 - 거의 round-robin 방식으로 전송순서를 결정
 - 경합중인 node 수에 비례하는 제한된 latency

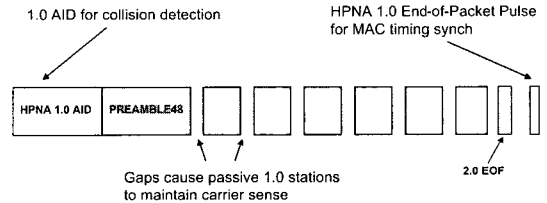
헤더의 데이터 속도율은 항상 2Mbaud(4Mbps)이지만 payload는 2Mbaud(4Mbps)로 전송하기 시작하여 이를 수신한 수신기는 선로의 상태에 따라 오류율을 관측하여 RRCF(Rate Request Control Frame)을 전송하여 다른 데이터 속도율을 요구한다. (그림 16)은 PE1(4Mbps)로부터 시작하여 PE5(12Mbps)의



(그림 17) Rate negotiation

데이터 rate을 요구하는 과정을 보이고 있다.

택내의 선로에는 HPNA 1.0 장치와 HPNA 2.0 장치가 동시에 연결되어 있을 수 있다. 이러한 경우 양립성(compatibility)의 문제가 발생하게된다. HPNA 2.0의 장치는 HPNA 1.0, v2.0 compatibility frames(gapped QAM/FDQAM), v2.0 native frame와 서로 프레임 송수신 할 수 있다. V2.0 장치로부터의 v1.x 프레임은 PCOM 필드를 사용하여 실제의 v1.x 프레임을 구별한다. 모든 장치(station)들은 v1.x 프레임과 link integrity 패킷을 감시하여 즉시 compatibility mode로 전환하며 다른 v2.0 장치들에게 이를 PCOM 필드를 이용하여 알리고 60초동안 실제의 v1.0 프레임이 없으면 상황을 해제한다.



(그림 18) Compatibility frame with AID prefix

5. 관련 제품

주요 벤더로서는 AMD, Intel, Conexant, Broadcom 등이 있으며, Broadcom 에서는 HPNA 2.0 chipset을 발표하였다. PCI 접속을 가지는 PC card 제품이 주를 이루고 있으며, 최근에는 구내망과 가입자망을 연결하는 residential gateway 제품들이 출시 되고 있고, Conexant는 지난 6월 ADSL, V.90, Ethernet, HPNA가 통합된 PCI 접속의 PC 내장형 residential gateway를 구성하는 chipset을 발표 하였다[7].

<표 3>

HomePNA Products			
Product Name	ComPany		Price
Boca Research Home Area Network (HANTM) Cards	Boca Research Inc.	PCI, Conexant chipset	\$84.99 for two cards (3/99)
Diamond HomeFree Phoneline	Diamond Multimedia Systems Inc.	PCI, AMD chipset	\$88.99 for two cards (3/99)
ActionTec ActionLink™ Kit	ActionTec Electronics Inc.	AMD chipset	\$71.95 for two cards (3/99)
Linksys Phoneline Network in a Box	Linksys	PCI, AMD chipset	\$83.95 for two cards (3/99)
Best Data Home PC Link™ Kit	Best Data Products	PCI	\$129.99 for kit (5/99)
Intel AnyPoint™ HomeNetwork Kit	Intel Corp.	PCI, Intel's 21145	\$189 for two parallel adapters (5/99)
Zoom/HomeLAN™ PCI	Zoom Telephonics	PCI, AMD chipset	\$99.98 for two cards (5/99)
Farallon HomeLine™ for PC and Mac Home Network Kit	Farallon Communications Inc.	PCI	\$139.99 for kit (6/99)
Select models of Compaq Presario computers (Presario 5670)	Compaq Computer Corp.		\$1,999 suggested retail price

6. 결론

구내망의 대표적인 방식인 HPNA가 적용되는 선로 환경 및 규격의 특징적인 내용에 대하여 살펴 보았다. 기존의 선로를 이용하여 저비용으로 구내망을 고도화하는 좋은 해결책이 될 것이다. 이미 많은 제품들이 출시되었고 국내에도 사용자가 계속 증가하고 있다. 구내의 통신장치들을 연결할 목적으로 출발하였지만 이에 머무르지 않고 폭발적인 인터넷 서비스 수요에 따라 가입자망과 구내망을 연결하는 상주 게이트웨이(residential gateway)에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 외국의 경우는 이미 xDSL과 연동되는 제품이 출시되어 있다. 구내망 뿐만 아니라 외부의 망과도 연결되어 진정한 고속 통신 서비스의 시대가 열리게 된 것이다. 또한 다른 구내망의 방식인 HomeRF, Bluetooth, IrDA, IEEE1394 등과 경쟁하기 위해서는 보다 저렴한 가격의 칩세트(chip set) 개발이 필수적이며, 업

체 주도로 빠르게 시장이 형성되고 있지만 시장의 규모에 맞추어 보다 효율적인 통신 서비스를 위한 일관성 있는 표준화 작업이 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] <http://www.homepna.org>.
- [2] Home Phone-line Networking Alliance 1M8 PHY Spec. (V1.1).
- [3] HomePNA Certification Document (V1.0).
- [4] Interface Specification for HomePNA 2.0 10M8 Technology.
- [5] Interface Specification for HomePNA 2.0 Link Layer Protocols.
- [6] HomePNA 2.0 System for High-Speed Networking, Broadcom.
- [7] <http://www.conexant.com/>.

저자약력



송 상 섭

1978년 전북대학교 전기공학과 학사
1980년 KAIST 전기 및 전자공학과 석사
1990년 캐나다 마니토바대학교 전기컴퓨터공학과 박사
1981년-현재 전북대학교 전자정보공학부 교수
관심분야: xDSL 모뎀, Home Network, 채널 부호,
Gigabit Ethernet



최 민 호

1991년 전자공학 학사, 전북대학교
1993년 전자공학 석사, 전북대학교
1993년-1998년 한국전자통신연구원(ETRI) 연구원
1999년-현재 전북대학교 전자공학과 박사과정
관심분야: 변복조, 신호처리, 부호이론