

CATV 망에서의 기가 인터넷 서비스를 위한 융복합 모뎀 설계에 관한 연구

박용서*, 이재경**
가천대학교*, 넥스투스주식회사**

A Study of Convergence Modem Design for Giga Internet Service over CATV Network

Yong-Seo Park*, Jae-Kyoung Lee**
Dept. of Electrical Engineering, Gachon University*
Nextas Co. Ltd.**

요 약 본 논문에서는 CATV 동축케이블 망에서 초고속인터넷 서비스를 제공하기 위한 네트워크 융복합의 새로운 기술을 제안하고, 1Gbps급 전송속도를 갖는 케이블 집선장치와 모뎀을 제작하였다. 이 기술은 기존 DOCSIS 규격의 결합(Bonding) 기술에 비해 제작비용을 낮출 수 있을 뿐만 아니라 채널 대역폭 조절에 따라 데이터 속도도 가변이 용이한 구조로 설계되었다. 실험결과에 따르면, 128QAM 컨볼루션 코드 레이트를 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8로 변화시켰을 때, 데이터는 에러율이 0 상태에서 최대 299Mbps까지의 전송속도를 나타냈으며, 256QAM에서는 10^{-5} 이내의 에러율 상태에서 342Mbps의 전송속도를 나타내었다. 본 논문의 결과를 활용하여, 채널 대역폭 200MHz를 확보하고 채널 상태에 따라 변조율과 부호율을 조정하면, 1Gbps 이상 전송속도가 가능하고, 기존 DOCSIS방식 보다 성능과 가격 면에서 경쟁력을 가질 것으로 기대된다.

주제어 : 기가 인터넷, 케이블 TV, DOCSIS, 케이블 모뎀, 네트워크 융복합

Abstract This paper aims to propose a novel technology of network convergence to provide ultra high speed internet services over CATV networks, by which a CMC(cable modem concentrator) and CM(cable modem) of 1Gbps level are designed. This technology not only lowers the production cost in comparison to the existing bonding technology with DOCSIS specification but also enables the adjustment of data speed based on the channel bandwidth. According to the experiments, when convolutional code rate with 128QAM is changed to 1/2, 2/3, 3/4 and 7/8, the data recorded the maximum transmission speed of up to 299 Mbps at the zero error rate. As the convolutional code rates with 256QAM is increased, it showed 334Mbps at the error rate of 10^{-5} . Based on the findings of this paper, if we secure the channel bandwidth of 200MHz and adjust the modulation order of QAM and the convolution code rate depending on the channel status, we can get the transmission speed of more than 1Gbps, which is much more competitive in its function and price than the existing technology based on DOCSIS.

Key Words : Giga Internet, CATV, DOCSIS, Cable Modem, Network Convergence

Received 17 August 2016, Revised 19 September 2016
Accepted 20 October 2016, Published 28 October 2016
Corresponding Author: Jae-Kyoung Lee(Nextas Co. Ltd.)
Email: jackye@naver.com

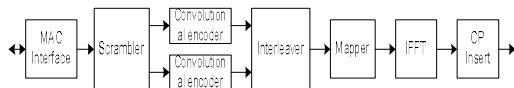
© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 1738-1916

이를 2048개로 균등 분할하여 이중 1728개를 데이터로 전송하기 위하여 부 반송파로 사용하고, 32개를 송수신단 사이의 위상 차이를 추적하기 위한 파일럿 부 반송파가 사용되었다. 중간에 5개의 부 반송파는 구현 시 발생할 수 있는 DC tone을 고려하여 사용하지 않으며, 이외의 283개의 부 반송파는 인접한 채널과의 간섭을 줄이기 위해 대역의 양 옆에 할당하여 사용하지 않는다. 채널의 multipath를 처리하기 위하여 삽입하는 guard interval인 cyclic prefix는 3개의 서로 다른 길이를 지원한다. 또한 통신의 신뢰도를 높이기 위하여 2.2.3절에서 설명될 bit loading 기술을 사용한다.

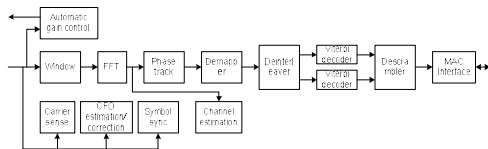
2.2.1 송수신단의 구조

송수신단의 구조는 [Fig. 3]과 같다. MAC으로부터 받은 데이터는 특이점을 없애기 위한 스캐램블러와 에러 정정을 위한 두개의 병렬형 컨볼루션 인코더를 적용한다.



[Fig. 3] Configuration of Transmitter

[Fig. 4]의 수신단에서는 이에 대응하는 비터비 디코더를 채용하고 있다. 수신단에서 에러 정정 성능 향상을 위하여 코딩된 비트는 Interleaver를 이용하여 하나의 심볼 내에서 부 반송파로 분산시킨다. 분산된 비트는 mapper를 이용하여 부 반송파 변조를 위한 심볼로 변환이 된다. IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)을 이용하여 OFDM 방식의 병렬 데이터 송신 신호를 발생시킨다. 채널 multipath를 처리하기 위한 cyclic prefix를 삽입하여 최종 OFDM 심볼을 만든다.



[Fig. 4] Configuration of Receiver

수신기는 입력된 신호를 감시하다가 frame의 도착을 검출하는 carrier sense 블록이 있고, 송수신단의

CFO(Carrier Frequency Offset)를 검출하고 보정하는 기능이 있으며, 이 후 OFDM 심볼의 시작점을 찾아내는 심볼 동기화부가 필요하다.

한 심볼 구간의 신호를 window 블록에서 추출하여, FFT 알고리즘을 이용하여 각 부 반송파 신호를 복조한다. 데이터를 전송하는 부 반송파와 함께 신호의 위상 변화를 추적할 수 있게 파일럿 부 반송파를 송신하는데, 이를 이용하여 송수신단의 위상 차이를 추적하고 보정한다. 각 부 반송파에 전송된 데이터의 likelihood 함수를 demapper 블록에서 계산한다. 송신단에서 분산시킨 데이터를 원래의 위치로 되돌리는 deinterleaver 블록이 필요하며, 그 결과를 에러 정정을 위하여 두개의 Viterbi decoder로 입력한다. 송신단에서 scramble된 데이터를 descrambler를 이용하여 데이터를 복원하고 이것을 최종적으로 MAC에 전달한다.

2.2.2 상향/하향 프레임 설계

송수신 데이터는 본 규격에서 정하는 프레임의 구조에 맞추어 전송된다. 게이트웨이로부터 전송되는 하향의 프레임은 다수의 케이블 모뎀의 물리계층에 의해 동시에 수신되어 상위 계층인 각각의 MAC계층에 전달된다. 하향프레임은 데이터 프레임과 비콘 프레임으로 구성되며, 상향 프레임은 데이터 프레임, initial ranging request 프레임, channel estimation request 프레임과 data request 프레임으로 구성된다.

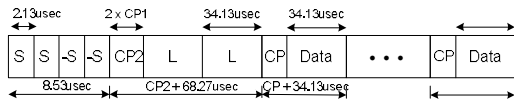
하향 비콘 프레임은 케이블 모뎀이 power-on된 이후에 상하향 프레임의 송수신을 위한 정보를 얻어내는 역할을 한다. 설계의 복잡도를 줄이기 위해 변조 방식과 심볼의 개수를 제외하고는 데이터프레임 구조와 동일하게 설계하였다.

Initial ranging request 프레임은 상향 데이터 프레임 구조와 동일하다. 데이터 부 반송파는 설계한 60MHz 대역폭 내에서 설정한 QPSK, 16QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM 변조방식에 실어 전송할 수 있다. 부 반송파는 부호화율이 1/2인 BPSK 방식을 채용하였다. Pilot 신호는 모든 가용 부 반송파를 이용하여 발생시킬 수 있다.

Channel estimation request 프레임은 부 반송파별 SNR를 추정하는데 사용된다. 데이터 심볼의 부 반송파 수, QAM 변조율, 부호화율, 각 pilot 부 반송파의 사용 여부 등에 대한 파라미터는 데이터를 전송하기 전에 채

널 추정을 통하여 얻어진 결과와 추정 테이블 값을 비교하여 결정하도록 하였다[18,19,20,21].

상향 전송에서 사용하는 데이터 프레임의 구조는 [Fig. 5]와 같으며 하향 데이터 프레임 구조와 동일하다. 프레임의 길이는 송신되는 데이터의 양에 따라 가변할 수 있도록 설계하였다.



[Fig. 5] Frame Structure of Up/Down Stream Data

Short preamble은 4개의 short 심볼로 구성된다. 처음의 2개는 동일한 short 심볼이 2번 반복되고 최후의 반복되는 2 심볼은 그 부호가 앞의 심볼에 반대가 된다. 이 short preamble을 이용하여 CFO를 추정하고, 심볼의 동기화를 이룬다. Long preamble은 하나의 CP(Cyclic Prefix)와 2개의 반복되는 long 심볼로 구성된다. 여기서의 CP2의 길이는 2xCP로서 512 샘플의 길이에 해당한다. Long 심볼은 미세한 CFO 추정과 채널을 추정하기 위하여 사용된다. 이후 여러 개의 data 심볼이 뒤따르는데 각각의 심볼은 CP와 FFT 길이의 심볼로 구성된다. 데이터 심볼의 CP 길이는 64, 128, 256의 3가지 길이 중의 하나가 사용된다.

2.2.3 Bit loading

통신의 신뢰도를 높이기 위하여 각 부 반송파의 SNR에 따라 전송할 데이터의 양을 정할 수 있다. 각 부 반송파 상향채널에 channel estimation request frame을 전송하여 SNR을 측정하여 채널상태를 추정하며, 하향 채널은 연속해서 전송되는 데이터와 비콘 frame을 이용하여 채널 상태를 추정한다.

데이터 부 반송파의 경우 보낼 데이터의 크기는 1, 2, 4, 6, 7, 8 비트와 사용 불가 등 7 가지이다. Pilot 부 반송파의 경우에는 사용 여부만을 정한다.

상향의 initial ranging frame과 time slot request frame의 신뢰도를 높이기 위하여 데이터 부 반송파의 경우 BPSK로 전송하고 pilot 부 반송파는 사용 가능한 부 반송파만을 이용하여 데이터를 전송한다. Time slot request frame의 경우 각 케이블 모뎀의 interleaver 크기는 사용

가능한 데이터와 pilot 부 반송파의 개수로 정해지며, 모든 케이블 모뎀의 interleaver 크기가 동일해야 한다. 이를 지원하기 위해서는 어느 하나의 케이블 모뎀에 대해서 사용 불가능한 부 반송파는 모든 케이블 모뎀에 대해서도 사용 불가능하도록 정하였다.

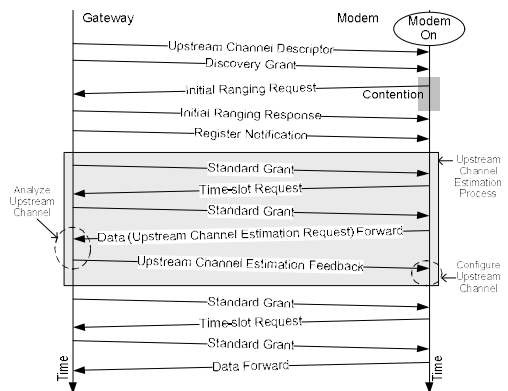
<Table 2>는 60MHz 대역을 사용하는 경우를 가정하여 각 심볼 종류에 따른 사용 부 반송파 개수, 변조 방식, 부호화율을 나타내고 있다.

<Table 2> Subcarrier Number of Symbol Type

Symbol Type	No. for Data	No. for Pilot	Modulation Type	Code Rate
Short (S)	110	0	BPSK	none
Long (L)	1760	0	BPSK	none
Down stream beacon	1728	32	BPSK	1/2
Up/Down stream data	Up to 1728	Up to 32	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM	1/2, 3/4, 5/6, 7/8
Initial ranging	Upto 1728	Upto 32	BPSK	1/2
Channel estimation request	1728	32	BPSK	none
Time slot request	Up to 1760	0	DBPSK	4 times repeat

2.3 MAC 계층 설계

본 논문에서는 모뎀이 최초로 망에 접속을 시도하는 경우 게이트웨이에 등록하는 과정을 [Fig. 6]과 같이 9 단계로 구분하여 설계하였으며, 아래는 각 단계 중에 주요 기능을 상술하였다.



[Fig. 6] Registration Procedure of Modem

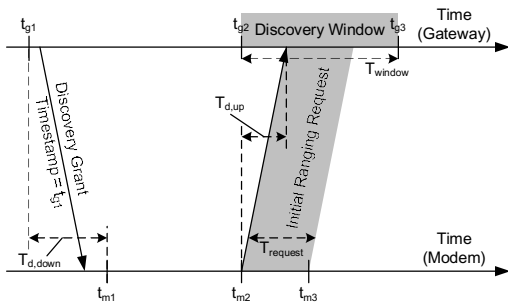
2.3.1 Power-up Sequence

모뎀이 망에 접속되면 모뎀의 PHY는 채널 스캔을 통해 downstream 신호의 특성을 파악하고, 이를 MAC 처리부로 전달하기 시작한다. 본 논문에서는 Upstream Channel Descriptor라고 하는 메시지를 시작으로 데이터를 주기적으로 생성하여 모뎀이 upstream 채널을 선택할 수 있도록 설계하였다.

2.3.2 Discovery Grant

게이트웨이는 각 모뎀이 upstream 데이터를 전송할 수 있도록 망에 접속되어 있는 모뎀에 대해 time-slot을 할당하는 역할을 하여야 한다. 망에 새롭게 접속된 모뎀이 자신의 존재를 게이트웨이에게 알리기 위하여 Initial Ranging Request 메시지를 전송할 수 있도록 일정한 time-slot을 주기적으로 할당하는 것을 Discovery Grant라고 정의한다.

망에 새롭게 접속을 시도하는 모뎀은 아직 Initial Ranging을 거치지 않은 상태이므로 게이트웨이의 local time과 모뎀의 local time은 일정한 편차를 가지고 있다. 이 편차는 Initial Ranging을 거친 후에야 보정될 수 있다. 따라서 [Fig. 7]과 같이 게이트웨이는 timing 편차를 고려하여 실제로 Initial Ranging Request 메시지를 수신하는 데 필요한 시간보다 긴 시간을 Discovery Window로 할당해 주어야 한다.



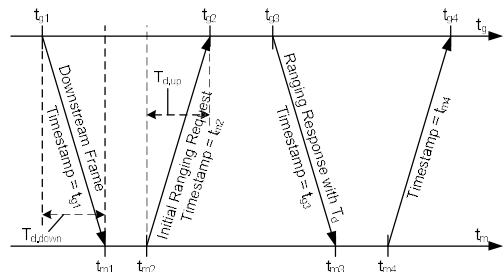
[Fig. 7] Discovery Window

게이트웨이의 Discovery Window는 게이트웨이의 Discovery Grant 메시지에 대하여 각 모뎀이 가변적인 시간지연(Time-Delay)을 적용한 후 Initial Ranging Request 메시지를 전송할 때 게이트웨이에서 메시지가 도착하는 시

간의 범위를 나타낸다. 시간지연의 가변 범위가 작을수록 Discovery Window는 작아지고 throughput은 향상된다.

2.3.3 Initial Ranging 단계

Initial Ranging Response를 통해 모뎀은 게이트웨이와의 타이머 편차를 파악하게 되며, 이후부터는 downstream 방향으로 수신되는 게이트웨이의 time stamp 값에 이 편차를 반영한 값으로 모뎀 타이머를 보정함으로써 게이트웨이와의 타이머 편차를 매우 작은 범위 이내로 제한할 수 있다. [Fig. 8]에서 Initial Ranging와 타이밍 보정 절차를 나타내었다.

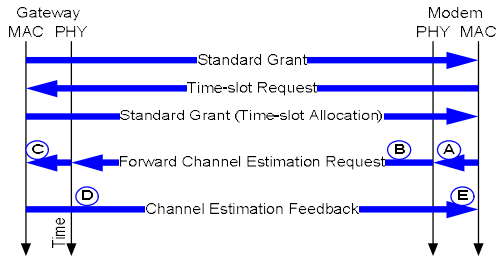


[Fig. 8] Initial Ranging and Timer Calibration Procedure

2.3.4 Upstream Channel Estimation Process

Channel estimation은 채널의 상태 즉, SNR CFO (Carrier Frequency Offset), 신호주파수대역(Channel Length) 등 채널특성을 측정하여, modulation scheme, sub-carrier 별 사용여부, cyclic prefix, FEC code word size 등 PHY의 동작과 관련된 요소들의 최적 값을 찾아냄으로써 시스템의 성능을 최대로 높이기 위한 과정이다. Registration Notification을 수신한 모뎀은 곧바로 Upstream Channel Estimation 과정을 진행한다. 정상적인 데이터 송수신이 이루어지기 전에 Upstream Channel Estimation을 통해 최적의 upstream 통신환경을 찾아야 하기 때문이다. [Fig. 9]는 Upstream Channel Estimation 과정을 보여준다.

본 논문에서 제안된 시스템이 동축케이블 망에 설치될 경우, 케이블 선로 상의 임펄스 잡음 등이 유입된 채널 상태에서도 견딜 수 있도록 설계하였다.

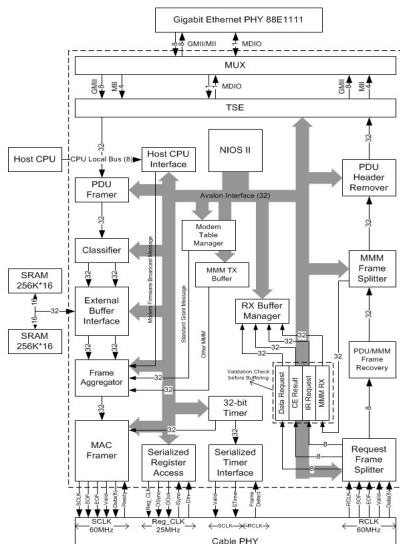


[Fig. 9] Procedure of Upstream Channel Estimation

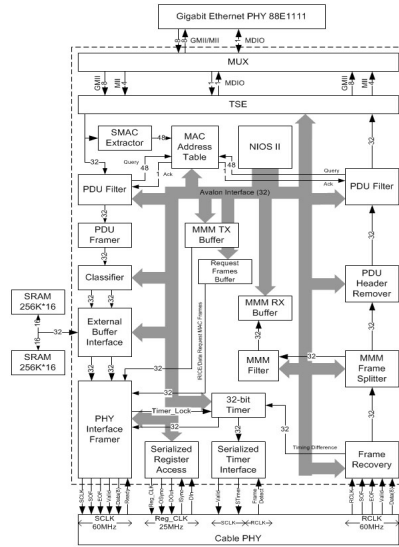
채널 상태를 확인하기 위해 연결된 모뎀의 PHY 부는 downstream 데이터를 수신하면서 PHY frame의 long symbol로부터 주기적으로, 혹은 지속적으로 channel estimation을 수행하여 결과를 PHY 레지스터에 업데이트 한다. 게이트웨이는 이들 정보를 수집하여 채널 상태를 주기적이고 지속적으로 파악할 수 있도록 설계하였다.

3. 측정 및 결과 고찰

본 논문에서는 RF와 PHY부는 [Fig. 1]과 [Fig. 2]의 구성도를 반영하였으며, 전송 신뢰도를 높이기 위해 고성능 PLL 부품 선정과 수용 대역폭 선형성을 고려하였다. MAC부분은 2장의 설계 사상을 FPGA 칩과 연계하여 [Fig. 10]과 [Fig. 11]에 설계도를 제시하였다.



[Fig. 10] Gateway MAC Block Diagram



[Fig. 11] Modem MAC Block Diagram

FPGA칩은 향후 Structured ASIC으로 전환이 용이하도록 Altera Stratix II EP2S180을 사용하였다.

설계 제작된 게이트웨이와 모뎀을 케이블사업자의 사이트에 실제 적용하여 측정된 결과는 다음과 같다.

시험환경은 각 SO사업자의 채널 중에 상방향 25MHz, 하방향 60MHz를 한시적으로 할당하여 테스트하였다.

위와 같이 구성한 장치로 실제 CATV 사업자 망에서 측정하였다. 사업자 환경에서의 채널 특성은 30MHz대역 이상에서는 본 논문에서 제안된 시스템의 성능을 구현하는데 문제가 없음을 확인하였다. 측정결과는 <Table 3>, <Table 4>, <Table 5>와 같이 PHY 와 MAC을 구분하여 데이터 전송속도와 에러율로 나타내었다.

3.1 PHY Rate 측정

본 논문에서는 시스템의 성능을 확인하기 위하여 물리계층의 데이터 전송 속도와 에러 발생율을 측정하였다.

<Table 3>과 <Table 4>의 측정 결과로부터 cyclic prefix와 컨볼루션 코드율에 따라 성능이 변한다는 것을 알 수 있다. <Table 3>은 128QAM에서의 PHY속도를 나타내며, 에러율은 0으로 완벽한 성능을 보였다.

<Table 4>는 256QAM에서의 성능 측정 결과이다. PHY Rate이 높아짐에 따라 에러율이 상승하고 있는 것을 알 수 있다. 이는 QAM의 속성상 Constellation간의 거리가 짧아질수록 에러 가능성이 높는데 기인한다. 결

과적으로 채널 상태에 따라 QAM의 종류, 데이터 전송속도와 에러율을 조절함으로써 서비스 품질을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

<Table 3> Measurement Results of PHY Rate of 128QAM

Cyclic Prefix	Code Rate	PHY Rate (Mbps)	Error Rate
64 symbols	1/2	171.219	0
	2/3	228.292	0
	3/4	256.829	0
	5/6	285.365	0
	7/8	299.633	0
128 symbols	1/2	166.2	0
	2/3	221.6	0
	3/4	249.299	0
	5/6	277.003	0
	7/8	290.854	0
256 symbols	1/2	156.997	0
	2/3	209.328	0
	3/4	235.493	0
	5/6	261.661	0
	7/8	274.744	0

<Table 4> Measurement Results of PHY Rate of 256 QAM

Cyclic Prefix	Code Rate	PHY Rate (Mbps)	Error Rate
64 symbols	1/2	195.679	3.E-06
	2/3	260.905	1.E-05
	3/4	293.518	3.E-05
	7/8	342.438	1.E-04
128 symbols	1/2	189.943	3.E-06
	2/3	253.257	3.E-06
	3/4	284.918	1.E-06
	7/8	332.399	6.E-05
256 symbols	1/2	179.426	3.E-06
	2/3	239.235	3.E-06
	3/4	269.135	3.E-05
	7/8	313.995	3.E-05

3.2 MAC 패킷 전송속도 측정

<Table 5>는 MAC 계층의 패킷 생성기에서 발생시킨 Ethernet 패킷이 수신되는 속도를 측정한 결과이다.

<Table 5> Measurement Results of MAC Data Speed

Items	Downlink	Uplink
Modulation	128QAM	128QAM
Cyclic Prefix	64 symbols	64 symbols
Code Rate	7/8	7/8
MAC Header Offset	32 bytes	32 bytes
MAC Data Speed	298.045 Mbps	296.498 Mbps
Error Rate	0	0

실제 데이터 전송속도는 RF와 PHY의 부품 정밀도에 영향을 받는다. MAC부에서는 다수의 모뎀과의 스케줄링과 데이터 처리속도에 따라 성능에 영향을 미치지만, 본 실험 결과에서는 MAC에서는 Error Rate가 0으로 처리속도와 성능에 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

본 논문에서 제작한 시스템으로 측정한 결과를 종합하면, 설계한 60MHz 대역폭을 수용하여 340Mbps의 전송속도를 나타내었다.

실제 DOCSIS규격[1,2,4,5,6,7,8,9,10,11]과 본 논문에서 제안된 기술은 기술 규격이 서로 다르기 때문에 단순비교는 어렵지만, 결합 기술은 25KHz 단위의 채널주파수를 결합해서 대역폭을 확장하는 개념이므로, 채널 수가 증가함에 따라 ASIC 칩을 제작 하는데 있어서 복잡도가 커지는 반면, 본 논문에서 제안된 기술은 설계에 적용한 60MHz를 단일 주파수 채널로 구성하기 때문에 주파수 대역이 n배로 증가하더라도 그에 비례하여 칩 제작 비용이 증가하지 않는다는 장점이 있다.

4. 결론

본 논문에서는 CATV망에서 광랜속도를 제공할 수 있는 초고속케이블인터넷 기술을 설계하였다. 제작 후 성능 평가 결과는 128QAM까지는 에러 없이 송수신 되었으나, 256QAM에서는 에러가 발생되었다. 이는 100MHz~ 800MHz에서 60MHz의 광대역폭을 처리하는 과정에서 RF단에서의 필터 선형 한계 특성과 클럭 슬립 현상에 기인한 것으로, 향후 이를 해결하기 위하여 고정밀 부품을 공급하면 해결될 것으로 판단된다.

현재 국내에서는 초고속 인터넷 서비스의 수단은 주로 광통신이 보편화되고 있다.

그러나 본 논문의 결과로부터 케이블방송용 채널 중에서 또는 추가 대역폭 확보가 가능하다면 동축케이블을 이용하여 장거리 전송을 하고 있는 중국, 인도, 중동 등 국가에서는 광LAN보다 경제성이 우수한 1G 이상의 초고속 인터넷 서비스를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

REFERENCES

[1] CM-SP-DRFI-II1-110210, "Data-Over-Cable Service

- Interface Specifications - Downstream RF Interface Specification", Feb 10, 2011.
- [2] CM-SP-R-PHY-I01-150615, "Data Over Cable Service Interface Specifications - Remote PHY Specification", Jun. 15, 2015.
- [3] Bo-Seon Kang, Keun-Ho Lee, "Fire Alarm Solutions Through the Convergence of Image Processing Technology and M2M", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 7 No. 1, pp. 37-42, 2016.
- [4] Onechul Na, Hyojik Lee, Soyoun Sung, Hangbae Chang, "A Study on Construction of Optimal Wireless Sensor System for Enhancing Organization Security Level on Industry Convergence Environment", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 4, pp. 139-146, 2015.
- [5] Jeabum Park, Byungmok Kim, JIAN SHEN, Daeseok Rho, "Development of Remote Monitoring and Control Device of 50KW Photovoltaic System", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 2, No. 3, pp. 7-14, 2011.
- [6] Seong-Hoon Lee, "Actual Cases and Analysis of IT Convergence for Green IT", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 6, pp. 147-152, 2015.
- [7] Jeong-Ick Lee, "Convergent Case Study of Research and Education: Internet of Things Based Wireless Device Forming Research", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 6, No. 4, pp. 1-7, 2015.
- [8] Ki-Sun Han, "Broadcasting Contents Management System in Restricted Area", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 4, No. 1, pp. 9-13, 2013.
- [9] Sung-Hwa Hong, Suk-Yong Jung, "The Study for the Image Quality Measurement in IPTV", Journal of the Korea Convergence Society, Vol. 2, No. 3, pp. 39-43, 2011.
- [10] CM-SP-MULPIv3.0-I15-110210, "Data Over Cable Service Interface Specifications DOCSIS 3.0 - MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification", Feb 10, 2011.
- [11] CM-SP-OSSIV3.0-I20-121113, "Data-Over-Cable Service Interface Specifications - Operations Support System Interface Specification", Nov. 13, 2012.
- [12] CM-SP-PHYv3.0-I08-090121, "Data Over Cable Service Interface Specifications - Physical Layer Specification", Jan 21, 2009.
- [13] Cisco Editor, "DOCSIS 3.0 Downstream Solution Design and Implementation Guide", Cisco Systems White Paper, Sep. 2014.
- [14] CM-SP-MULPIv3.1-I01-131029, "Data-Over-Cable Service Interface Specifications - MAC and Upper Layer Protocols Interface Specification", Oct. 29, 2013.
- [15] CM-SP-PHYv3.1-I01-131029, "Data Over Cable Service Interface Specifications - Physical Layer Specification", Oct. 29, 2013.
- [16] J.Y.Jung, etc., "Next-Generation Cable Broadcasting Technology and Standardization", Electronics and Telecommunications Trends, Vol.30. No. 3, pp.9-20, Dec. 2016.
- [17] Yong-Seo Park, "A Study on the Convergence of CATV Networks for Ultra High Speed Internet Service", Journal of Digital Convergence, Vol. 13 No. 9, pp.219-224, Sep, 2015.
- [18] T.S, La, etc., "Channel Estimation Techniques for OFDM Systems", Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 21, No. 6, pp.124-132, Dec. 2016.
- [19] Young-Gwang Lee, etc., "An Enhanced Scheme with CFO and SFO in OFDMA system", The Journal of IIBC. Vol. 14, No. 1, pp.1-6, Feb. 28, 2014.
- [20] Srishtansh Pathak, Himanshu Sharma, "Channel Estimation in OFDM Systems", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Vol 3, Issue 3, March 2013.
- [21] Aida Zaier and Ridha Bouallègue, "Channel Estimation Study for Block - Pilot Insertion in OFDM Systems Under Slowly Time Varying Condition", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.3, No. 6, November 2011.

박 용 서(Park, Yong Seo)



- 1982년 2월 : 연세대학교 전기공학
과(공학사)
- 1984년 2월 : 연세대학교 전기공학
과(공학석사)
- 1988년 8월 : 연세대학교 전기공학
과 박사
- 1993년 1월 ~ 1994년 1월 : 미국 남
플로리다 대학교 객원교수
- 1989년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 전기공학과 교수
- 관심분야 : ITS, 무선 및 이동통신, CDMA, 네트워크 성능분
석
- E-Mail : yspark@gachon.ac.kr

이 재 경(Lee, Jae Kyoung)



- 1992년 2월 : 연세대학교 전기공학
과(공학박사)
- 1993년 1월 ~ 1999년 7월 : 삼성
SDS 정보통신본부 차장
- 2000년 3월 ~ 2001년 12월 : 유니텔
컨설팅팀 팀장
- 2002년 1월 ~ 2007년 7월 : 삼성네
트웍스 NW기술팀 팀장
- 2007년 8월 ~ 2009년 3월 : 드림라인 전략사업본부장 겸
CTO
- 2011년 1월 ~ 2011년 10월 : 엔씨솔루션 대표이사
- 2009년 4월 ~ 현재 : 벡스터스 CTO
- 관심분야 : 이동통신, 네트워크 성능분석
- E-Mail : jackye@naver.com