

상향채널 케이블 모뎀을 위한 S-CDMA 기술 분석

정희원 김기윤*, 이형근*, 김판수*, 조병학**, 최형진*

Analysis of S-CDMA Technique for Cable Modem Upstream Channel

Ki-yun Kim*, Hyung-geun Lee*, Pan-soo Kim*, Byung-hak Cho**, Hyung-jin Choi*
Regular Members

요 약

S-CDMA는 상향채널에 적용할 수 있는 새로운 케이블 모뎀 기술로서 CATV 망을 이용하여 고속의 멀티미디어 통신을 가능하게 한다. 본 논문에서는 Terayon 특허를 바탕으로 S-CDMA 방식의 송수신 동작과정을 분석하고 다양한 파라미터 사용으로 케이블 모뎀 상향채널을 잘 반영할 수 있는 ϵ -복합 임펄스 모델을 적용하여 S-CDMA 및 TDMA 방식의 비트 에러 확률을 유도하였다. 이 분석 결과는 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 보인다. 또한 16, 32, 64 QAM에 대한 S-CDMA의 E_b/N_0 이득 성능을 TDMA와 비교하였다.

ABSTRACT

S(Synchronous)-CDMA is a new cable modem technology applicable to the upstream channel for high speed multimedia communication using CATV networks. In this paper we analyze the transmitting and receiving process of S-CDMA scheme based on Terayon patent and derive bit error probability of S-CDMA and TDMA scheme in the ϵ -mixture impulse noise model which appropriately reflects impulse noise characteristics of upstream channel by using various parameters. This analysis results are a good match with the simulation results. We also compare E_b/N_0 gain performance of S-CDMA with TDMA in 16, 32, 64 QAM.

I. 서 론

최근 인터넷의 확대와 방송 및 통신의 융합화 현상에 따라 여러 가지 이종 망간의 접속에 의한 정보통신 서비스에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히 CATV 망을 통한 케이블 모뎀기술로 화상회의, 게임, 주문형 비디오 등의 양방향 통신 서비스를 통합하여 제공하고자 하는 노력이 계속되고 있다.

그러나 현재 가입자에서 헤드엔드(Headend)로의 상향채널은 임펄스 잡음과 같은 채널환경 문제로 인하여 원활한 양방향 고속 데이터 전송이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 케이블 모뎀 상향채널

대역은 5~42 MHz로서 TDMA 방식을 이용한 QPSK, 16 QAM 변조방식이 사용되어 왔으나 TV, 라디오, 전기기기, 사용자간의 간섭 등에 의해 생기는 간섭인 임펄스 잡음과 협대역 간섭의 영향이 TDMA 타임슬롯(Timeslot) 구간내의 데이터에 치명적인 손실을 일으켜 원활한 양방향 통신에 어려움이 있었다.

이를 해결하기 위해서 케이블 모뎀 규격인 MCNS DOCSIS 1.2 에서는 새롭게 S-CDMA 기술을 도입하고 표준 규격으로 채택하여 이러한 문제를 극복할 계획에 있다. S-CDMA 방식은 그 이름이 내포하듯이 크게 두 가지의 기술이 합쳐져 있다. 첫째로 다수의 가입자와 헤드엔드를 동기

* 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부(hjchoi@ece.skku.ac.kr),

** 전자부품연구원 멀티미디어센터

논문번호 : 00232-0623, 접수일자 : 1999년 6월 23일

(Synchronization)화시키는 기술과, 둘째로 직교성(Orthogonality)을 가지는 코드를 사용하여 전송 시간동안 전송 데이터의 에너지를 확산시키고 수신측에서 다시 데이터를 복원하기 위해 에너지를 압축 시킴으로써 높은 잡음 면역성을 얻는 CDMA기술이 그것이다. 즉, S-CDMA 방식은 코드 확산 기술을 통해 임펄스성 잡음을 백색(White)성 잡음으로 변화시켜 데이터 수신 성능을 향상시킬 수 있다. 또한 동기화된 특징 때문에 Asynchronous-CDMA 방식에서 문제가 되는 여러 사용자에 의한 상호간섭(Mutual Interference)으로 인한 잡음 플로어(Noise Floor) 증가를 상대적으로 줄여 시스템 용량(System Capacity)증가를 가져온다.

S-CDMA 기술은 최근 미국의 Terayon사가 모델 구현에 성공하여 특허로 등록한 상태이며^[1], 아직 초창기 기술이어서 국내는 물론 국외로도 이 기술 방식에 대해 본격적으로 분석한 논문과 참고자료를 찾아보기가 어렵다.

이에 본 논문에서는 Terayon의 16 QAM 특허 기술을 바탕으로 자기 케이블 모델 상향채널 규격으로 선정될 S-CDMA 기술에 대해 전반적으로 분석해 보고 임펄스 채널을 모델링하여 성능평가를 수행하였다.

본 논문의 II장에서는 S-CDMA 방식의 송수신 동작 과정을 Terayon특허를 중심으로 분석하고 III장에서는 케이블모델의 상향채널의 임펄스 잡음 특성을 잘 반영할 수 있는 ϵ -복합 임펄스 모델을 적용하여 TDMA 및 S-CDMA의 비트에러 확률을 유도하였다. IV장에서는 이를 바탕으로 E_b/N_0 에 따른 BER(Bit Error Rate)을 평가하고 TDMA에 대한 S-CDMA의 E_b/N_0 이득을 구하였다. 그리고 끝으로 V장에서 본 논문의 끝을 맺는다.

II. S-CDMA 방식의 송수신동작과정 분석

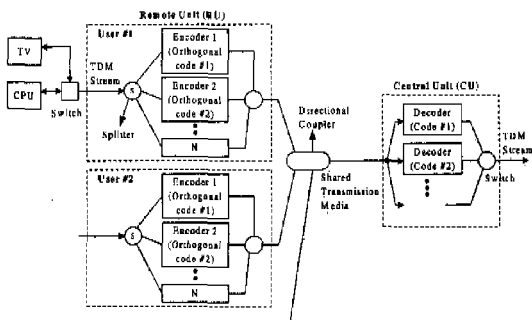


그림 1. S-CDMA 방식 변·복조과정의 전체 블록도

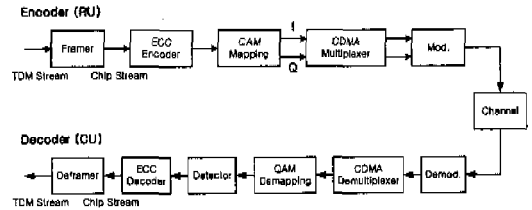


그림 2. S-CDMA 방식 송수신기의 Encoder와 Decoder

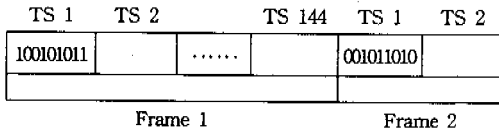
본 장에서는 상향채널을 통해 여러 명의 사용자가 CU(Central Unit)로 데이터를 보내고자 할 때 각 사용자들의 변·복조과정을 Terayon 특허기술을 기준으로 분석하였다^[1]. Terayon 특허에서는 한 프레임은 144개의 타임슬롯으로 구성하고 한 타임슬롯은 3 심볼(9 비트)로 구성하였다. 또한 확산 코드의 길이는 144로 하며 16 QAM 변조기법을 적용하였다. 먼저 변·복조과정의 전체 블록도는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서는 CU로 데이터를 보내고자 하는 한 명의 사용자를 RU(Remote Unit) #1이라고 하고 RU #1이 두 개의 채널을 통해서 TV와 PC의 데이터를 보낸다고 가정한 경우의 예이다. 이 때 각 사용자의 Encoder와 CU의 Decoder에서 서로 직교성을 가지는 코드를 곱함으로써 서로 다른 사용자가 동시에 공유 전송매체를 통해 자신의 정보를 CU로 전달할 수 있다. 각 사용자의 Encoder와 CU의 Decoder의 동작 블록을 좀 더 자세하게 나타내면 그림 2와 같다.

그림 1과 그림 2를 바탕으로 다음의 2.1절, 2.2 절에서는 S-CDMA의 변·복조 과정을 좀 더 구체적으로 분석하여 기술하였다.

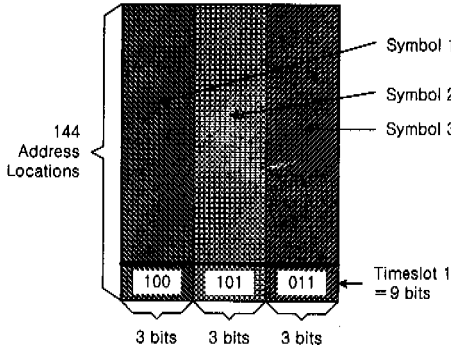
1. S-CDMA 방식 송신기의 변조과정

그림 1에서와 같이 먼저 RU #1은 CU로부터 2개의 채널을 할당받았다고 가정한다. 즉, TV의 데이터는 채널 1을 PC의 데이터는 채널 2를 각각 할당받는다. 그 뒤, RU #1에서는 각 장비의 데이터를 스위치(Switch)를 통해서 TDMA 열로 바꾸어준다. 스위치의 출력인 TDMA 열은 앞서 언급한 바와 같이 144개의 타임슬롯으로 구성되어 있고 각 타임슬롯은 9비트로 구성되어 있다. 스위치의 출력은 Splitter로 입력이 되며 입력된 TDMA 열은 서로 직교성을 가지는 코드가 할당되어 있는 Encoder로 분리된다. 즉 TV의 데이터는 Encoder #1로 PC의 데이터는 Encoder #2로 각각 분리된다.

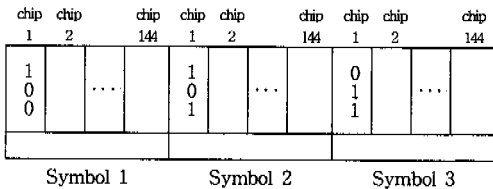
그림 2를 바탕으로 각 Encoder의 동작을 살펴보면, 먼저 TDM Stream은 Framer에 입력이 된 후



(a) Framer의 입력



(b) Framer 메모리의 저장 형태



(c) Framer의 출력

그림 3. Framer의 동작원리

칩(Chip) Stream으로 출력이 되어서 CDMA 다중화기(Multiplexer)에서 코드들에 의해 데이터가 확산이 될 공간을 미리 만들어 준다. Framer의 동작을 좀 더 자세하게 살펴보면 먼저, 그림 3(a)의 입력인 TDM Stream은 그림 3(b)와 같이 Framer 메모리에 저장된다. 이 때 각 3-bit는 한 심볼을 형성하게 되며 Framer의 출력은 한 심볼씩 차례대로 출력이 되어 각 심볼의 3-bit들은 144 주소 위치에 의해서 144개의 간격으로 떨어지게 된다. 이러한 과정을 통해서 한 타임 슬롯의 데이터 입력은 3개의 심볼(432개의 칩)로 출력되어 그림 3(c)와 같이 한 프레임의 구간으로 펼쳐지게 된다.

Framer의 출력은 ECC(Error Correcting Code) Encoder로 입력이 된다. ECC Encoder는 기존의 3 비트 데이터에 1 비트의 ECC 비트를 추가하여 채널에서 부과되는 잡음에 대한 면역성을 증가시킨다. ECC Encoder의 출력인 각 심볼의 4 비트 데이터

	chip 1	chip 2	...	chip 144	chip 1	chip 2	...	chip 144	chip 1	chip 2	...	chip 144
I	-3	0	...	0	-3	0	...	0	+1	0	...	0
Q	+1	0	...	0	-3	0	...	0	-3	0	...	0

(a) CDMA 다중화기 입력

$$[-3 \ 0 \ 0 \ \dots \ 0] \times \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & \dots & 1 \\ 1 & -1 & -1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & -1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -1 & -1 & -1 & \dots & -1 \end{bmatrix}$$

$$= [+3 \ +3 \ +3 \ \dots \ -3]$$

(b) CDMA 다중화기에서의 행렬 곱

	chip 1	chip 2	...	chip 144	chip 1	chip 2	...	chip 144	chip 1	chip 2	...	chip 144
I	+3	+3	...	-3	+3	+3	...	-3	-1	-1	...	+1
Q	-1	-1	...	+1	+3	+3	...	-3	+3	+3	...	-3

(c) CDMA 다중화기의 출력

그림 4. CDMA 다중화기의 동작원리

는 16 QAM의 십진수 데이터로 변환된다. 먼저 각 심볼의 4 비트의 데이터는 각각 I(In-phase)와 Q(Quadrature) 채널의 2비트로 나누어진 다음 그레이 부호화(Gray Encoding) 방법을 사용하여 십진수의 값(-3, -1, 1, 3)으로 변환된다.

16 QAM으로 변환된 십진수의 데이터는 각각 I와 Q 채널로 나누어져 CDMA 다중화기로 입력되며, 입력 형태는 그림 4(a)와 같다. CDMA 다중화기에서는 행렬 곱에 의해서 각 심볼별로 확산이 일어난다. 확산과정은 그림 4(b)와 같다. 코드 행렬에서의 각 열은 각 Encoder의 코드를 나타내며 Encoder #1의 코드는 코드 행렬의 첫 번째 열이다. 코드는 직교성이 좋은 144 비트 길이의 코드를 사이클릭 시프트(Cyclic Shift)시켜서 144개의 코드를 만들어서 사용할 수도 있으며 직교성을 가지는 직교 코드 집합을 사용해도 된다. 각 사용자의 Encoder에는 확산할 때 사용될 144개의 코드가 미리 할당되어져 있다. 행렬 곱에 의해서 입력된 십진수의 데이터는 144 칩 길이의 코드와 곱해져서 전체 프레임 구간으로 확산되며 행렬 곱에 의해서 확

산된 후의 출력은 그림 4(c)와 같다.

CDMA 다중화기의 출력은 다른 사용자들의 확산 데이터들과 합쳐진 형태로 디렉셔널 커플러(Directional Coupler)까지 전송된다. 디렉셔널 커플러의 입력은 그림 5와 같다. 각 I와 Q 채널의 입력 데이터를 각각 같은 주파수의 Cosine파와 Sine파가 곱해진 뒤 공유 전송매체(Shared Transmission Media)를 통해서 전송한다. 이 때 여러 사용자의 데이터는 코드의 직교성에 의해서 서로 간섭 없이 전송된다.

		chip 1		chip 2		chip 144		chip 1		chip 2		chip 144		chip 1	
CH 1	I		+3	+3		-3	+3	+3		-3	-1	-1		+1	
	Q		-1	-1		+1	+3	+3		-3	+3	+3		-3	
CH 2	I		-1	-1		+1	+3	+3		-3	+3	+3		-3	
	Q		-3	-3		+3	-1	-1		+1	+1	+1		-1	
:		:													
				Symbol 1				Symbol 2				Symbol 3			

그림 5. 디렉셔널 커플러의 입력신호 프레임 구조

1. S-CDMA 방식 수신기의 복조과정

공유 전송매체를 통해서 입력된 모든 사용자들의 데이터는 각각의 Decoder로 입력된다. 그림 6에서 보는 것과 같이 각 Decoder에서는 확산했을 때 사용한 코드 행렬의 역행렬을 곱해서 각 채널의 데이터를 복원한다.

역확산된 데이터는 판정기(Slicer)에서 16 QAM 성좌도에서 가장 가까운 점으로 결정이 되고 한 심볼의 4비트의 데이터는 비터비 복호기(Viterbi

$$[+2 +2 +2 \dots -2] \times \frac{1}{144} \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} = [-3]$$

그림 6. CDMA 역다중화기의 행렬 곱 연산과정

TS 1	TS 2	TS 3	...	TS 144	TS 1	TS 2	TS 3
100101011	001011010				001011010	101101100	
Frame 1				Frame 2			

그림 7. CU의 최종 출력신호 프레임 구조

Decoder)에서 에러를 정정한 다음 3비트의 데이터로 출력되고 Deframer 과정을 거쳐서 TDMA 열로 재구성된다.

각 Decoder의 출력은 스위치에서 하나의 TDMA 열로 결합된다. 최종 출력의 형태는 그림 7과 같다.

이상에서 분석한 바와 같이 기본적으로 S-CDMA 방식에서 데이터들은 TDMA 방식과 같이 시간적으로 나누어진 여러 개의 타임슬롯으로 데이터를 보내는 것이 아니라 서로 직교성을 가지는 확산 코드를 이용해서 동시에 데이터를 보내게 된다. 이렇게 서로 다른 데이터가 동시에 전송되기 위해서 S-CDMA 모뎀은 TDMA 모뎀보다 다소 복잡해지는 단점이 있다. 그러나 확산 기술로 인해서 5~42 MHz 대역의 케이블 모뎀 상향채널에서 문제가 되는 임펄스 잡음에 대한 면역성을 향상시킬 수가 있어 우수한 성능을 나타낼 수 있다. 이에 대한 성능 평가는 IV절에서 자세히 다루었다.

III. 임펄스 채널 모델링 및 BER 성능유도

1. 임펄스 채널 모델링

케이블 모뎀 상향채널에서의 임펄스 잡음은 광대역으로 통과 대역 전체에 나타나 잡음 플로어를 증가시키고 보통 지속시간은 10 μsec 이하의 버스트 성질을 가진다. 대부분의 임펄스가 발생하는 구간은 10 MHz 이하에 집중되어 주로 상향대역의 낮은 대역에 영향을 미친다. 임펄스 잡음 모델은 실험적인 데이터에서 산출된 값을 기초로 수학적 수식으로 표현한 경험적 모델링 방법에 의해 시뮬레이션 되는데 그 중 많이 사용되는 것은 다음 두가지 방법이다. 그 중 하나가 Modestino가 제안한 방법이며^[2], 또 다른 것은 Miller & Thomas가 제안한 방법이다^[3]. 전자는 일반적인 임펄스 잡음 구간과 비교해 상대적으로 긴 임펄스 잡음 발생구간으로 모델링 한 저밀도 산탄잡음(Shot Noise)과정과 AWGN 잡음 분포의 선형적인 조합으로 구성된 형태의 모델이기 때문에 우리가 모델링하려는 HFC 상향채널의 특성과 임펄스 잡음과는 발생구간 면에서 상이한 면이 있다. 반면에 Miller & Thomas가 제안한 ε-복합 비가우시안 임펄스 잡음(또는 First Order 혼합 잡음) 모델은 순시 크기의 통계적 분포를 따른 것으로 케이블 모뎀 상향채널의 임펄스 잡음 발생형태를 잘 반영하며 좀 더 광범하게 적용될 수 있는 특성을 지닌다. 따라서 이 방법을 이용하여 케이블 모뎀 상향채널 환경에 적합한 파라미터를

적용하여 구현하고자 한다. 이 모델링에서 제시한 방법은 우선 전체잡음을 $n(t) = n_B(t) + n_I(t)$ 의 형태로 나타낸다. 여기서 우변의 첫째 항은 평균이 0인 AWGN 랜덤 잡음(n_B)을 나타내며 우변의 둘째 항은 임펄스 랜덤 잡음 성분(n_I)을 의미한다.

전체 잡음 중 임펄스 잡음의 발생빈도 확률(ϵ)이 $\epsilon \ll 1$ 인 경우에 First order 크기 확률밀도 함수의 결과는 다음과 같다^{[4],[5]}.

$$f_n(x) = (1-\epsilon)f_B(x) + \epsilon f_I(x) \quad (1)$$

f_I 는 상대적으로 AWGN보다 큰 분산 값을 가지는 가우시안 확률밀도함수(또는 넓은 꼬리를 가지는 라플라시안 확률밀도함수)로 간주한다. f_I 와 f_B 의 분산 비율은 식 (2)와 같다.

$$\gamma^2 = \sigma_I^2 / \sigma_B^2 \quad (2)$$

여기서 γ^2 은 보통 AWGN에 대한 임펄스의 잡음의 전력비를 의미하는 실험 파라미터 값이다. 여기서 전체 잡음 분산 σ^2 은 다음과 같은 식으로 주어진다.

$$\sigma^2 = N_o[(1-\epsilon) + \epsilon \gamma^2] / 2 \quad (3)$$

2. 임펄스 채널 환경에서의 BER 유도

3.1 절에서의 임펄스 잡음모델링을 바탕으로 16, 32, 64 QAM TDMA와 S-CDMA 방식의 BER 성능분석을 할 수 있다. 우선 식 (1)과 같은 형태의 잡음확률밀도 함수를 가진 단일 심볼 구간에서 각각 잡음 샘플들을 나타내는 independent identically distributed(i.i.d) 랜덤변수의 열(N)이 있는 경우를 고려해보자.

랜덤변수 $\{X_i\}$ 의 특성함수(Characteristic Function) 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$\Phi_x(w) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{jwx} ((1-\epsilon)f_B(x) + \epsilon f_I(x)) dx \quad (4)$$

우변의 두 성분은 모두 영(zero) 평균 가우시안이므로 특성 함수는 다음과 같다.

$$\Phi_x(w) = (1-\epsilon) e^{-\frac{w^2 \sigma_B^2}{2}} + \epsilon e^{-\frac{w^2 \sigma_I^2}{2}} \quad (5)$$

i.i.d 성질을 이용하여 합성(composite) 랜덤변수의 특성 함수는 다음과 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \Phi_z(w) &= [\Phi_x(w)]^N \\ &= [(1-\epsilon) e^{-\frac{w^2 \sigma_B^2}{2}} + \epsilon e^{-\frac{w^2 \sigma_I^2}{2}}]^N \end{aligned} \quad (6)$$

$a = (1-\epsilon) e^{-\frac{w^2 \sigma_B^2}{2}}$, $b = \epsilon e^{-\frac{w^2 \sigma_I^2}{2}}$ 로 간주하여 $(a+b)^N = \sum_{k=0}^N \binom{N}{k} a^k b^{N-k}$ 인 형태의 이항전개식(Binomial Expansion)을 사용하면 다음 식(7)와 같이 쓸 수 있다.

$$\Phi_z(w) = \epsilon^N \sum_{k=0}^N \binom{N}{k} \left(\frac{1-\epsilon}{\epsilon}\right)^k e^{-\frac{w^2 \sigma_B^2}{2}(k+(N-k)\gamma^2)} \quad (7)$$

z 합성 밀도함수는 역변환 결과를 간단히 이용함으로써 다음과 같이 얻어진다.

$$f_z(x) = \epsilon^N \sum_{k=0}^N \binom{N}{k} \left(\frac{1-\epsilon}{\epsilon}\right)^k f_k(0, \sigma_k^2) \quad (8)$$

여기서, $f_k(0, \sigma_k^2)$ 는 0(Zero) 평균과 $\sigma_B^2(k+(N-k)\gamma^2)$ 분산을 가진 표준 가우시안 밀도 함수이다.

따라서 식 (9)의 가우시안 채널에서 QAM 비트 에러 확률^[6]을 이용하여 임펄스 잡음 환경에서의 TDMA 기법 QAM BER을 식 (10)과 같이 얻을 수 있다.

$$P_{B \text{ AWGN}} = \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} Q\left(\sqrt{\left(\frac{3 \log_2 L}{L^2-1}\right) \frac{2E_b}{N_o}}\right) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} P_B &= \epsilon^N \sum_{k=0}^N \binom{N}{k} \left(\frac{1-\epsilon}{\epsilon}\right)^k \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} \\ &\times Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 L}{L^2-1} \frac{2NE_b}{N_o(k+(N-k)\gamma^2)}}\right) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 Q 함수이고 L 은 1차원에서 QAM 신호의 크기에벨의 수를 나타낸다.

만약 심볼구간에서 잡음을 한 샘플 취하면($N=1$) 신호대역은 잡음대역과 같아진다. 따라서 식 (7), (8)은 다음 식 (11), (12)와 같이 나타낼 수 있다.

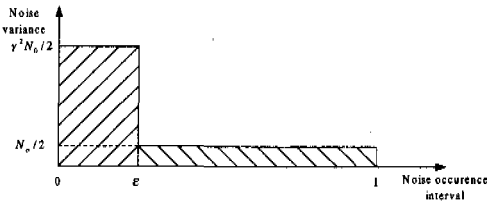
$$\Phi_z(w) = \epsilon e^{-\frac{w^2 \sigma_I^2}{2} \gamma^2} + (1-\epsilon) e^{-\frac{w^2 \sigma_B^2}{2}} \quad (11)$$

$$f_z(z) = \epsilon f_0(0, \sigma_0^2) + (1-\epsilon) f_1(0, \sigma_1^2) \quad (12)$$

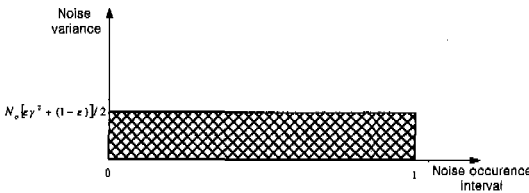
이 경우 TDMA BER 식은 식 (10)으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{B\ TDMA} = \epsilon \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 L}{L^2-1} \frac{2 E_b}{N_o \gamma^2}}\right) + (1-\epsilon) \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 L}{L^2-1} \frac{2 E_b}{N_o}}\right) \quad (13)$$

식 (13)의 의미는 그림 8 (a)와 같이 정규화된 잡음구간의 ϵ 빈도 구간에서 $\gamma^2 N_o/2$ 잡음전력이 임펄스 잡음으로 할당되고 (1- ϵ)구간 동안 $N_o/2$ 양측 스펙트럼 전력밀도가 주어진다 것을 나타내고 있다. 즉, 신호대역폭과 동일한 잡음 대역폭을 가정했을 경우 임펄스 채널 환경에서의 TDMA 방식 BER 은 임펄스 잡음 영역과 AWGN 잡음영역의 합으로 표현됨을 의미하는 것이다.



(a) TDMA기법에서 임펄스 잡음전력



(b) S-CDMA기법에서 임펄스 잡음전력

그림 8. 임펄스 잡음의 전력 분포

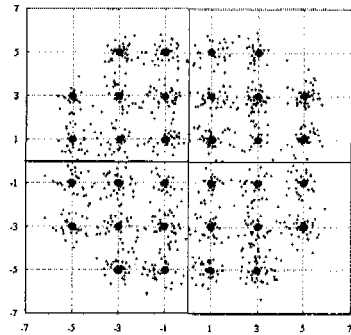
S-CDMA에서의 잡음전력은 그림 8(b)에서와 같이 전체잡음이 전 확산구간으로 균일하게 확산되므로 잡음을 식 (3)과 같이 간주하여 식 (9)로부터 식 (14)와 같이 전체잡음의 평균잡음 전력으로부터 S-CDMA BER 식을 얻을 수 있다.

$$P_{B\ SCDMA} = \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} Q\left(\sqrt{\frac{3 \log_2 L}{L^2-1} \frac{2 E_b}{N_o \sigma^2}}\right) \quad (14)$$

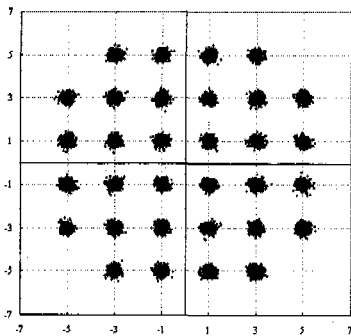
IV. S-CDMA 방식의 성능평가

1. BER 성능평가

S-CDMA의 BER 성능을 살펴보기 전에 임펄스 채널 환경에서 기존의 TDMA 방식과 S-CDMA 방식의 성좌도를 그림 9에 나타내었다. 그림 9에 나타난 성좌도는 32 QAM에 대한 경우이며 $E_b/N_o=30$ dB 로 가정하고, 임펄스 채널 파라미터 $\gamma^2=100$, $\epsilon=0.1$ 을 가정하였다. 그림 9(a)의 TDMA의 경우에는 임펄스 잡음으로 인해 전송된 신호가 결정영역 밖으로 위치하는 경우가 많게 되어 심볼에러가 많이 발생됨을 알 수 있으며 그림 9(b)의 S-CDMA 방식에서는 확산효과로 균일한 잡음이 전송된 신호에 영향을 미쳐 심볼에러가 상대적으로 적게 발생하게 됨을 알 수 있다.



(a) TDMA의 성좌도



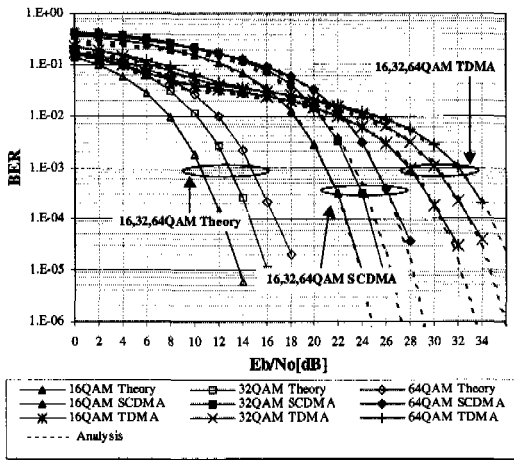
(b) S-CDMA의 성좌도

그림 9. 임펄스 잡음 환경에서의 성좌도 (32 QAM, $E_b/N_o=30$ dB, $\gamma^2=100$, $\epsilon=0.1$)

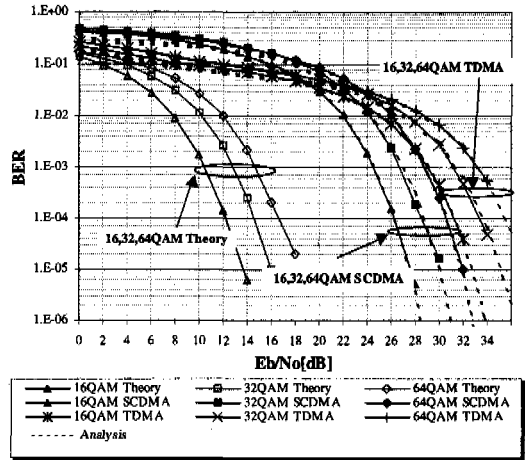
이와 같은 현상은 다음의 BER 성능평가 결과로 반영된다. BER 성능평가를 위해 임펄스 잡음을 케

이불 모델 상향채널을 고려하여 일정구간만큼 발생한다고 가정하고 발생정도에 따라 파라미터 ϵ ($0 < \epsilon < 1$)으로 비율을 따져서 S-CDMA와 TDMA의 BER 성능평가를 수행하였다. 그림 10은 III장의 임펄스 잡음 모델링 및 유도된 BER 식을 바탕으로 16, 32, 64 QAM 변조방식에 따른 S-CDMA와 TDMA BER 성능을 나타낸 것이다. 시뮬레이션한 결과와 유도된 BER 식이 임펄스 채널 환경에서 거의 일치함을 볼 수 있다. 그림 10의 시뮬레이션 환경은 $\gamma^2=100$ 이고 임펄스 잡음이 각각 13 칩, 32 칩 구간동안 발생하는 경우로서 직교성이 보장되는 128 칩 Walsh 코드를 사용하였다. 여기서 한 칩 구간을 Terayon 특허에서는 약 313 μsec 정도로 설계하였으므로 실제로 13 칩($\epsilon=0.1$)은 4 μsec , 32 칩($\epsilon=0.25$)은 10 μsec 길이의 임펄스 잡음이 128 칩 Walsh 코드 확산구간 내에 존재함을 의미한다. 이것은 앞서 언급한 케이블 모델 상향채널 임펄스 잡음 환경(지속시간 10 μsec 이하)과 일치하는 경우이다.

그림 10 (a)에서 BER = 10^{-3} 기준으로 16, 32, 64 QAM의 각각에 대한 BER 성능은 거의 같은 수준으로 S-CDMA방식이 TDMA 보다 약 7.1 dB, 7.1 dB, 7.0 dB 전력이득을 보였다. 또한 그림 10 (b)에서는 같은 기준에서 거의 같은 수준으로 약 4.7 dB, 4.6 dB, 4.5 dB 정도의 전력이득을 보였다. 이것은 QAM의 차수(16, 32, 64)에는 무관하게 BER = 10^{-3} 기준으로 거의 동일한 이득을 가짐을 의미한다.



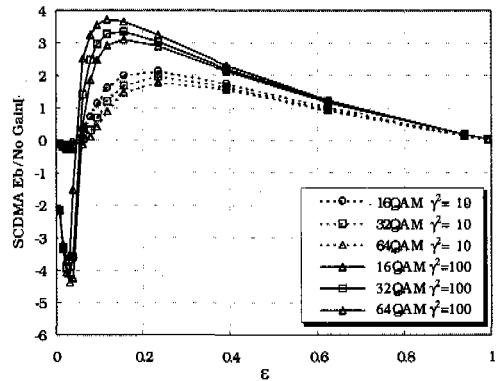
(a) 13 chips ($\epsilon=0.1$)구간동안 임펄스 잡음 발생



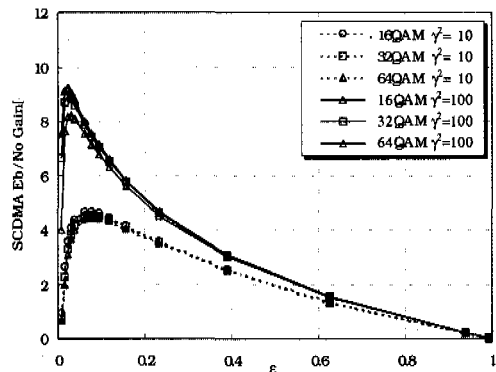
(b) 32 chips ($\epsilon=0.25$)구간동안 임펄스 잡음 발생

그림 10. S-CDMA 및 TDMA 방식의 BER 성능평가 ($\gamma^2=100$)

2. 잡음전력에 따른 TDMA에 대한 S-CDMA의 E_b/N_0 이득 성능평가



(a) BER = 10^{-2}



(b) BER = 10^{-3}

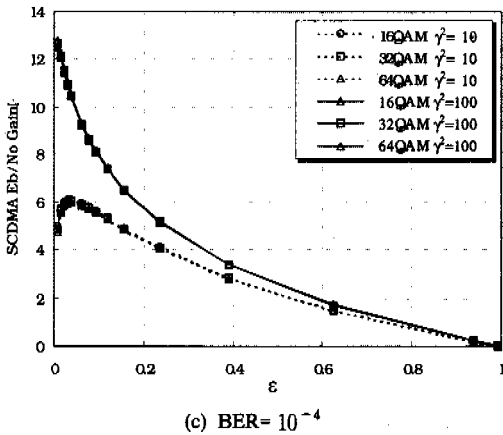


그림 11. BER에 따른 TDMA에 대한 S-CDMA 의 Eb/No 이득 곡선

본 절에서는 그림 11에 나타난 바와 같이 동일 BER상에서의 TDMA에 대한 S-CDMA의Eb/No 이득차이를 임펄스 잡음전력과 임펄스 잡음 발생구간에 관하여 분석하였다.

그림 11을 살펴보면 변조방식(16, 32, 64 QAM)과는 무관하게 거의 동일한 성능이득을 나타내고 있으며, 대표적으로 그림 11 (b)를 살펴보면 ε (임펄스 잡음 발생구간)이 0 에서부터 차차 커짐에 따라 S-CDMA Eb/No 이득이 급격하게 증가하게 되고 어떤 ε 지점에서 최대성능 지점을 가지다 결국 점차 천천히 감소하는 특성을 나타낸다. 또한 기준 BER=10⁻³ 이하일 경우(그림 11(b), 11(c))는 γ² 이 클수록 전 구간에 걸쳐 Eb/No 이득이 크다.(즉, γ²=10 인 경우와 γ²=100 인 경우, BER=10⁻³, BER=10⁻⁴ 기준으로 모두 γ² =100 경우가 큰 이득을 나타낸다.) 이것의 의미는 AWGN 잡음대 임펄스 잡음전력 비 γ²가 클수록 S-CDMA의 TDMA에 대한 Eb/No 이득이 증가함을 의미한다. 그러나 특이하게도 그림 11 (a)에서는 BER=10⁻² 기준으로 ε 값이 대략 0.05보다 작을 때 TDMA에 대한 S-CDMA Eb/No 이득이 음수 값을 가진다. 이 결과는 상대적으로 큰 BER 기준으로 살펴볼 때 발생하는 현상으로 S-CDMA와 TDMA사이의 BER 곡선의 교차점과 관계가 있다. 그림 11(a)의 결과로 TDMA가 S-CDMA 보다 우수할 경우는 큰 BER 기준으로 아주 짧은 구간에 걸쳐 큰 임펄스 잡음이 인가되는 경우라 말할 수 있다. 그러나 현실적으로 FEC(Foward Error Correction)가 없는 경우 대개 BER=10⁻³ 이하를 기준으로 BER 성능을 평가하

로 전반적으로 S-CDMA 방식이 임펄스 채널 환경에서 우수한 성능을 나타낸다고 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 MCNS DOCSIS 1.2 규격으로 새롭게 선정 예정에 있는 S-CDMA 방식 상향채널 케이블 모뎀 번복조 과정에 대해 분석하고 케이블 모뎀 상향 채널에 적합한 ε -복합잡음 임펄스 잡음을 모델링하여 16, 32, 64 QAM에 대한 BER 성능평가 수행하였다. Terayon에서 제시한 특허 기술은 S-CDMA 방식에 대한 기본적인 개념과 기술을 소개한 것으로 앞으로 지속적인 연구를 통해 개선과 새로운 발명의 여지가 있다. 한 예로 본 논문에서는 Terayon에서 제시한 144 직교순환코드 대신 128 Walsh 코드를 사용하였는데 이는 Terayon 코드가 다소 불안정한 직교성을 가지고 있어서 사용자가 늘어날수록 시스템 성능이 열화되는 문제점이 있기 때문이다. ε -혼합잡음 임펄스 채널 환경에서의 16, 32, 64 QAM에 대한 BER 성능평가 결과는 임펄스 잡음을 바탕으로 유도된 BER 식과 일치하였으며 종전의 TDMA 방식에 대한 S-CDMA 방식의 Eb/No 성능 이득을 동일 BER 기준으로 분석한 결과는 임펄스 잡음 패턴에 따라 그 이득 정도가 다양하지만 전반적으로 S-CDMA의 성능이 우수함을 알 수 있었다.

본 논문의 결과를 통하여 상향채널에서의 S-CDMA 방식 적용에 대한 신뢰성 있는 설계를 수행할 수 있을 것으로 사료되며, 향후 최적 모뎀 요소 알고리즘 등이 결합된 상세한 모뎀 설계에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

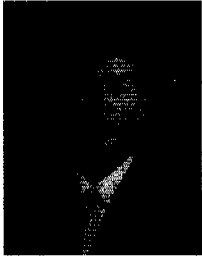
- [1] S. S. Rakib, *Apparatus and Method for Digital Data Transmission over Video Cable Using Orthogonal Cyclic Codes*, US Patent 5,793,759, Aug. 1998.
- [2] J. W. Modestino et al., "Modeling, analysis, and simulation of receiver performance in impulse noise," *Proc. GLOBECOM'83*, pp. 1598~1605, Dec. 1983.
- [3] J. H. Miller and J. B. Thomas, "The detection of signals in impulse noise modeled as a mixture process," *IEEE Trans. Commun.*, vol.

COM-24, pp. 559~563, May 1976.

- [4] S. Kapoor, V. P. Telang, J. D. Mills, and M. G. Makhija, "Mitigating impulse noise over HFC network for telephony- over-cable," *Proc. GLOBECOM'95*, vol. 2, pp. 967~971, 1995.
- [5] B. Aazhang and H. V. Poor, "Performance of DS/SSMA communications in impulsive channels-part I: Linear correlation receivers," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-35. no. 11, pp. 1179~1183, Nov. 1987.
- [6] B. Sklar, *Digital Communications : Fundamentals and Applications*, NJ: PTR Prentice-Hall, pp. 546~549, 1988.

김기윤(Ki-yun Kim)

정회원



1997년 2월 : 성균관대학교
전자공학과 학사 졸업

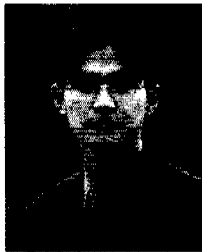
1999년 2월 : 성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부
석사 졸업

1999년 3월~현재 :
성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부
박사과정

<주관심 분야> 디지털이동통신, 무선통신, 위성통신,
모뎀기술(OFDM, Cable 모뎀 등), DSP

이형근(Hyung-geun Lee)

정회원



2000년 2월 : 성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부
학사 졸업

2000년 3월~현재 :
성균관대학교
전기전자컴퓨터
공학부 석사 과정

<주관심 분야> 디지털이동통신, 무선통신, 모뎀기술

김판수(Pan-soo Kim)

정회원



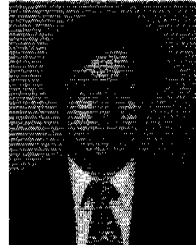
2000년 2월 : 성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부
학사 졸업

2000년 3월~현재 :
성균관대학교
전기전자컴퓨터 공학부
석사 과정

<주관심 분야> 디지털이동통신, 무선통신, 모뎀기술

조병학(Byung-hak Cho)

정회원



1981년 2월 : 서울대학교
전자공학과 학사 졸업

1988년 2월 : 서울대학교
전자공학과 석사 졸업

1997년 3월~현재 : 성균관대학교
전기전자컴퓨터공학부
박사 과정

1981년~1986년 : 동양정밀 공업(주) 중앙연구소

1988년~1990년 : LG전자 영상미디어연구소

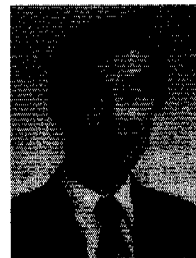
선임연구원

1992년~현재 : 전자부품 연구원 수석연구원

<주관심 분야> 디지털 변복조, Multiple Access
Protocol, Cable 모뎀 등

최형진(Hyung-jin Choi)

정회원



1974년 2월 : 서울대학교
전자공학과 학사 졸업

1976년 2월 : 한국과학기술원
전기전자공학과 졸업

1976년 3월~1979년 7월 :
주식회사 금성사
중앙연구소 근무(과장)

1979년 9월~1982년 12월 : 미국 University of southern
California 전기공학과 박사(Ph.D)

1982년 10월~1989년 2월 : 미국 LinCom Corp.
연구원으로 근무

1989년 3월~현재 : 성균관대학교 전기전자컴퓨터
공학부 정교수

<주관심 분야> 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위
성통신 및 동기화기술을 포함한 모뎀기술
등