

# DS-CDMA 시스템을 위한 터보 부호와 정규화 CMA 채널 등화 개선

정회원 박노진\*, 강철호\*

## Improvement of Normalized CMA Channel Equalization and Turbo Code for DS-CDMA System

No-Jin Park\*, Chul-Ho Kang\* *Regular Members*

### 요약

본 논문에서는 디지털 통신 시스템에서 오류 정정 부호화 방식으로 사용되는 Turbo Code에서 기존의 블록 인터리버의 성능을 개선한 새로운 S-R 인터리버와 MAP 알고리즘을 이용한 병렬 구조의 새로운(New) 터보 복호기를 제안하고, 차세대 무선 멀티미디어 통신에서 실시간 음성 및 비디오 서비스를 제공시 복호 지연시간을 단축시키기 위해 가변 복호 방법을 이용하여 DS-CDMA 시스템의 Multipath 채널 환경에서 컴퓨터 모의 실험을 통해 성능 분석을 하였다. 또한 이동통신 시스템에서 채널의 효율을 높이기 위한 등화 방식으로 기존의 NCMA 알고리즘을 이용한 새로운 블라인드 등화 방식(Modified NCMA)을 제안하고, 이를 DS-CDMA 시스템의 다중 사용자 환경에서 컴퓨터 모의 실험 및 성능분석을 하였다.

### ABSTRACT

In this dissertation, in the Turbo Code used for error correction coding of the recent digital communication systems, we propose a new S-R interleaver that has the better performance than the existing block interleaver, and the Turbo Decoder that has the parallel concatenated New structure using the MAP algorithm. For real-time voice and video services over the third generation mobile communications, the performance of two proposed methods is analyzed by the reduced decoding delay using the variable decoding method by computer simulation over multipath channels of DS-CDMA system. Also, a Modified NCMA based on conventional NCMA is proposed to improve the channel efficiency in the mobile communication system, and is investigated over the multi-user environment of DS-CDMA system through computer simulation.

### I. 서론

DS-CDMA (Direct Sequence Code Division Multiple Access) 시스템은 다중 사용자에게 고유의 Code를 할당하고, 동일 주파수 대역에서 다중 사용자 신호를 확산 및 역 확산함으로써 다중 접속을 한다. 이러한 디지털 통신 시스템에서 최근에 오류 정정 부호화 방식으로 사용되는 터보 부호에서 인터리버의 타입과 길이는 부호기의 성능을 결정하는

주요한 요소로서 1,000 bit 이상을 이용할 경우 뛰어난 성능을 달성할 수 있으나, 너무 긴 복호 지연시간으로 인해 성능에 영향을 초래하므로 이를 해결하기 위한 노력의 일환으로 복호가 완료되면 반복 횟수를 중단시킴으로써 긴 복호 지연의 단점을 극복하기 위한 연구가 수행되었다<sup>[1][2]</sup>.

또한 DS-CDMA 시스템의 성능을 저하시키는 또 다른 요인으로는 시스템의 사용자 수가 증가하면, 스펙트럼 중첩(Spectrum Overlapping)이 발생하고,

\* 광운대학교 대학원 전자통신공학과 신호처리 연구실(parknjnj@lycos.co.kr)

논문번호 : 020177-0418, 접수일자 : 2002년 04월 18일

배경 잡음전력(Background Noise Power)의 증가로 시스템 용량을 저하시킨다. 따라서 신호들이 다중경로로 수신기에 입사함에 따라 발생하는 간섭인 ISI (Inter Symbol Interference)와 원하는 사용자의 신호와 동시에 존재하는 다른 사용자들의 신호에 의한 간섭인 MAI (Multiple Access Interference)가 발생하는데 양질의 서비스를 위해 이러한 단점들을 개선하기 위한 연구가 수행되었다<sup>[3][4]</sup>. 디지털 통신 시스템에서 블라인드 등화를 위한 Godard 알고리즘 중에서 Treichler와 그 연구진들에 의해 발표된 단순하면서 성능이 좋고 구현하기 쉬운 CMA (Constant Modulus Algorithm)는 블라인드 알고리즘 중에 대표적인 알고리즘이다<sup>[5][6]</sup>.

본 논문에서는 먼저 짧은 프레임 단위의 블록 인터리버의 성능을 개선한 새로운 인터리버와 MAP (Maximum A Posteriori) 기반 병렬 구조 터보 복호기에서 새로운 4단 터보 복호기를 제안한다. 또한 기존의 NCMA (Normalized Constant Modulus Algorithm) 등화 방식의 단점을 보완하여 DS-CDMA 시스템 환경에서도 안정된 수렴을 하는 새로운 Modified NCMA 등화 방식을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 DS-CDMA 시스템의 모델에 대해 기술하고, 제 3 장에서는 본 논문에서 제안한 새로운 터보 부호와 채널 등화 방식을 유도한다. 제 4 장에서는 제안한 S-R 인터리버, 병렬 구조의 새로운 터보 복호기, Modified NCMA 등화 방식을 DS-CDMA 시스템에서 모의 실험을 통해 성능 분석을 하고, 제 5 장에서 결론을 맺는다.

## II. DS-CDMA 시스템 모델

### 2.1 터보 부호와 DS-CDMA 시스템

그림 3-1은 터보 부호를 채용한 동기식(Synchronous) DS-CDMA BPSK 시스템의 Reverse Link 모델을 나타내었다<sup>[7]</sup>. 시스템에 임의의 전력과 시간을 갖는 BPSK(+1, -1)로부터 신호를 전송하는 K명의 사용자가 있다.

k 번째 사용자의 데이터 시퀀스  $s_k(m)$ 의 m번째 심볼은 부호율이  $R_c=1/2$ , 구속장  $B=3$ , 생성다항식이  $G=(g_1, g_2) = (7,5)$ 인 터보 부호기를 거쳐서 코드 시퀀스  $s_k(2n=m)$ 을 발생하지만 간략히  $s_k(n)$ 을 사용한다. 또한 k 번째 사용자의 확산 부호열은  $c_k = [c_k(0), c_k(1), \dots, c_k(L-1)]^T$ ,

$c_k(l) \in \{-1, +1\}$ 로 표현된다. 본 논문에서의 보오드 (Baud)단위는 n, Chip 단위는 l,  $(\cdot)^T$ 는 전치,  $(\cdot)^*$ 는 최적 계수를 나타낸다.

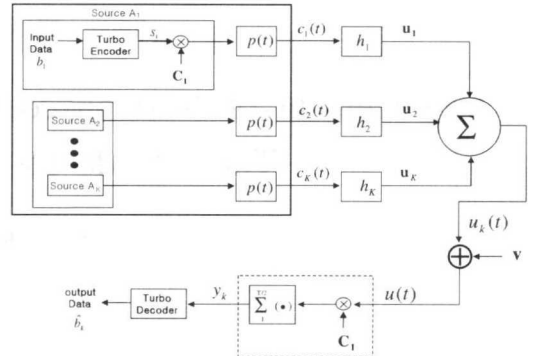


그림 2-1. DS-CDMA 시스템 모델

터보 부호기를 통과한 각 사용자의 신호는 길이 L의 확산 부호열에 의해서 확산되고, 각 심볼(Symbol)의 주기는 T, Chip 주기는  $T_c$  ( $L=T/T_c$ )이다. 터보 부호의 부호율이 1/2이면, 부호화된 부호 비트  $s_k(n)$ 은 데이터 비트 구간의 T/2가 된다. 그리고 모든 사용자는 같은 구형펄스 함수  $p(t)$ ,  $[0, T_c]$ 를 가지며, 모든 채널  $h(t)$ 는 최대 지연  $N_h \frac{T}{2}$  ( $N_h > 0$ )를 갖는 FIR 필터로 가정한다.  $N_h$ 는 채널의 차수를 나타내는데 본 논문에서는 편의상 모든 사용자들의 채널의 차수가  $N_h$ 로 같고  $N_h \ll L$ 의 관계를 만족한다고 가정을 한다.  $u(t)$ 는 평균이 0 이고 분산이  $\sigma_v^2$ 인 가우시안 잡음이다. 위의 내용으로 다음과 같은 연속적인 시간 모델의 일반적인 표현식을 얻을 수 있다. 먼저, 확산 파형은 식 (2-1)과 같이 표현된다.

$$c_k(t) = \sum_{i=0}^{L-1} c_k(i) p(t-iT_c). \tag{2-1}$$

그리고, k 번째 채널의 출력은 다음 식처럼 표현한다.

$$u_k(t) = [ \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_k(t) c_k(t-nT-\tau_k) ] * h_k(t) \tag{2-2}$$

여기서 \*는 선형 콘볼루션(Linear Convolution)이고,  $h_k(t)$ 는 k 번째 사용자에게 대한 채널을 등가 저역 필터로서 모델링 한 것으로 식 (2-3)과 같이 주어진다<sup>[11]</sup>.

$$H_k = \begin{bmatrix} h_k(0) & h_k(1) & \dots & h_k(N_h-1) \\ & h_k(0) & h_k(1) & \dots & h_k(N_h-1) \\ & & \ddots & & \\ & & & h_k(0) & h_k(1) & \dots & h_k(N_h-1) \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

채널을 통과한 각 사용자의 수신 신호  $u(t)$ 는 다중 경로 채널을 지나 양측파대 스펙트럼 밀도가  $N_o/2$ 인 AWGN이 부가되어 수신된다.

$$u(t) = \sum_{k=1}^K u_k(t) + \nu(t). \quad (2-4)$$

희망 사용자 신호를  $c_k(t)$  라고 가정하면, 이때 수신되는 수신신호  $u(t)$ 와  $C_1$ 을 곱하여  $[0, T/2]$  구간에서 적분함으로써 상관 수신되므로 상관기의 출력은 다음과 같이 하여 구한다.

$$y_k = \sum_{t=1}^{T/2} u(t) \cdot C_k \quad (2-5)$$

그 후 역 확산된 심볼은 터보 복호기를 통과해서 정보 데이터를 추정하게 된다.

### 2.2 DS-CDMA 시스템과 채널 등화

그림 2-2는 그림 2-1과 같은 DS-CDMA 기저대역 시스템 모델이다<sup>[8][9]</sup>. 따라서 임의의 전력과 시간을 갖는 BPSK(+1,-1)로부터 신호를 전송하는  $K$  명의 사용자가 있고, 각 사용자의 신호는 길이  $L$ 의 확산 부호열에 의해서 확산되어진다. 모든 채널  $h(t)$ 는 최대 지연  $N_h T (N_h > 0)$ 를 갖는 FIR 필터로 가정하고, 보오드(Baud) 단위는  $n$ , Chip 단위는  $l$ ,  $(\cdot)^T$ 는 전치,  $(\cdot)^*$ 는 최적 계수이고 나머지 파라미터는 2.1절과 같다.

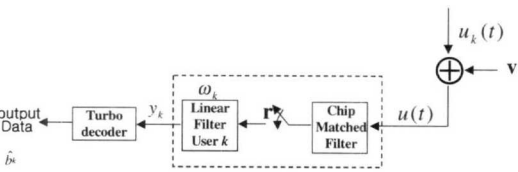


그림 2-2. 동기식 DS-CDMA 시스템 모델

$k$  번째 사용자의  $n$ 번째 심볼은  $s_k(n)$ 이고,  $k$  번째 사용자의 확산 부호열은

$$c_k = [c_k(0), c_k(1), \dots, c_k(L-1)]^T, \quad c_k(l) \in \{-1, +1\}$$

로 표현된다. 선형 예측기의 연판정(Soft Decision) 출력에서  $y_k(n-\delta)$ 의  $\delta$ 는 복합적인 시스템 지연을 나타낸다. 위의 내용으로 다음

과 같은 연속적인 시간 모델의 일반적인 표현식을 얻을 수 있다. 먼저 2-1절에 표현한 것처럼 확산 파형은 식(2-6)과 같다.

$$c_k(t) = \sum_{i=0}^{L-1} c_k(i) p(t-iT_c). \quad (2-6)$$

그리고,  $k$  번째 채널의 출력은 다음과 같다.

$$u_k(t) = [ \sum_{n=-\infty}^{\infty} s_k(t) c_k(t-nT-\tau_k) ] * h_k(t) \quad (2-7)$$

식 (2-7)의 \*는 선형 컨볼루션(Linear Convolution)이고, Chip Matched 필터의 입력 단에서 수신 신호  $u(t)$ 는 다음과 같다.

$$u(t) = \sum_{k=1}^K u_k(t) + \nu(t). \quad (2-8)$$

그리고 수신 신호  $u(t)$ 는 Pulse-Matched 필터링 된 후 FIR 선형 필터,  $\omega_k$  에 입력된다.  $k$  번째 사용자가 전송한 심볼을 추정하기 위한 FIR 선형필터는  $N_f$ 의 차수를 갖는 벡터  $\omega_k = [ \omega_k(0) \ \omega_k(1) \ \dots \ \omega_k(N_f-1) ]^T$ 로 표현된다.

따라서 Synchronous DS-CDMA 모델과 Asynchronous DS-CDMA 모델을 고려하여 각각의 경우에 다중 사용자 검파를 위한 신호처리 시스템에 적용하기 위해 연속 시간(Continuous Time) 모델을 등가 이산 시간(Discrete Time) 모델로 발전시킬 수 있다.

## III. 새로운 터보부호와 채널 등화방식

### 3.2 새로운 터보 부호(Turbo Code)

#### 3.2.1 새로운 S-R 인터리버(Interleaver)

어떤 임의의 시간에 데이터 중 한 프레임을 복호할 때 프레임의 끝 가까이 있는 비트들은 정확한 신뢰 값을 추정하지 못하게 되는 상태를 Tail Effect라 한다. 이 Tail Effect를 제거하고, 최소 유클리드 거리(Minimum Euclidean Distance)를 최대 화하면 터보 복호기의 성능 향상을 기대할 수 있다. 일반적인 블록 인터리버는 데이터를 행(Row) 방향으로 쓰고 열(Column) 방향으로 읽는 형태이다<sup>[2]</sup>. 이를 응용하여 본 논문에서 제안하는 S-R (Skip-Rotate) 인터리버는 입력되는 시퀀스에 따라 행 방향으로 일정한  $d=3$  만큼 Skip 한 후 쓰고, 열 방향으로 Bottom에서 Top으로 읽는 형태로 구현한다.



이렇게 함으로서 부호어간의 유클리드 거리(Euclidean Distance) 분포가  $h=6$ 이 된다. 따라서 메모리가 증가하는 단점이 있으나 기존의 블록 인터리버보다 최소 유클리드 거리를 증가시키고 Tail Bits가 프레임 내부에 위치하게 됨으로서 터보 복호기에서 프레임을 복호 시 Tail Bits에 의한 영향을 최소화하여 복호 성능을 향상시키는 요인이 된다.

1	7	12	2
8	13	3	9
14	4	10	15
5	11	16	6

5	14	8	1
11	4	13	7
16	10	3	12
6	15	9	2

(a) 행방향으로 쓸때 (b) 열방향으로 읽을때

그림 3-1. S-R 인터리버의 구조

3.2.2 4단 병렬 구조의 새로운 터보 복호기

터보 부호의 구조 및 복호 방법은 복호 지연과 성능을 결정하는 중요한 요소이다. 특히 복호기의 구조는 하드웨어의 복잡도와 성능에 따라 결정되어야 하고, 반복 복호화의 수는 복호 지연과 성능을 잘 고려하여 선택되어야 한다. 따라서 직렬 복호기를 2단(Two Step) 이상 연결하여 사용 시에는 하드웨어의 복잡성과 더불어 반복 복호를 수행함으로써 실시간 통신에서 커다란 장애라 할 수 있는 큰 지연을 수반하게 된다. 병렬 구조를 이용한 일반적인 4단 터보 복호기<sup>[10][11]</sup>는  $m$  번째 복호화가 진행된 후 하단 복호기(DEC B)와 상단 복호기(DEC A)의 LLR (Log-Likelihood Ratio) 출력 값  $(LLR_A^{(m)} + LLR_B^{(m)})/2$ 을 강 판정(Hard Decision)을 하여  $\hat{d}$  를 추정한다. 복호 횟수  $m$ 이 증가할수록 두 값의 신뢰도가 높아지는 분포로 새롭게 갱신되어 더 이상 성능 향상이 없는 오류 값으로 수렴하게 되나, 정해진 복호 횟수 이전에 수렴이 빨리 이루어질 때는 그만큼의 불필요한 복호가 이루어져 바람직한 현상이라 할 수 없다.

따라서 본 논문에서는 기존의 2단 복호기와 비교하여 하드웨어의 복잡도는 2배로 증가되나, 4단 병렬 구조 복호기보다는 복잡도는 같으면서도 성능은 향상시키고 복호 지연은 감소시킨 병렬 구조의 새로운 복호기를 제안한다. 그림 3-2은 본 논문에서 제안한 병렬 구조의 새로운 터보 복호기이다.

새로운 병렬 터보 복호 절차는 매 복호시마다  $\hat{u}_1$  과  $\hat{u}_2$ ,  $\hat{u}_3$  를 서로 비교함으로써 오류 분포가 수렴하게 되며, 강 판정한 3개의 출력 값이 같으면

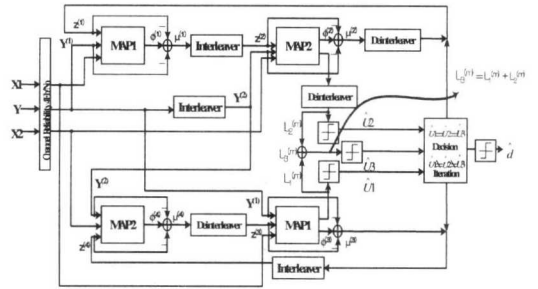


그림 3-2. 4단 병렬 구조의 새로운 터보 복호기

더 이상 복호를 진행하지 않고  $\hat{u}_3$ 를 판정하고, 그렇지 않으면 정해진 복호 횟수만큼 반복 복호를 진행하게 되므로 기존의 복호 지연 시간을 상당히 단축시킬 수 있다. 또한 제안한 방식을 이용하여 복호시 상단과 하단의 복호기들이 각각 분리 동작하면서 LLR 값을 출력하므로 더욱 신뢰성 있는 복호 과정이 진행되고 성능을 향상시킬 수 있음이 컴퓨터 모의 실험을 통해 확인할 수 있었다. 새로운 병렬 구조 복호기 구조는 기존의 2단 직렬 복호기에 비해 하드웨어의 복잡도는 2배이나, 그에 대한 보상으로서 성능은 향상시키면서 복호 횟수를 가변적으로 적용할 수 있는 방법을 사용하여 복호 지연을 감소시킬 수 있다.

3.2.3 새로운 채널 등화 방식

(1) NCMA(Normalized CMA) 채널등화방식

NCMA (Normalized Constant Modulus Algorithm)는 CMA의 각 Iteration에서 A Posteriori Error를 식 (3-1)와 같이 함으로서 유도된다<sup>[12]</sup>.

$$e_k = |r_k^H w_{k+1}|^2 - \lambda = 0, \text{ for all } k = 1, 2, \dots \quad (3-1)$$

따라서 NCMA 알고리즘은 식 (3-2)와 같은 형태를 갖는다.

$$w_{k+1} = w_k - \frac{1}{\|r_k\|^2} r_k y_k (1 - \frac{1}{|y_k|}). \quad (3-2)$$

식 (3-2)에서  $\|\cdot\|$ 은 Euclidean Space Vector의 2-Norm을 나타낸다.  $\mu$  는 알고리즘의 수렴 속도를 결정하는 Step Size이고,  $\mu \in (0,2)$ 의 모든 값에 대해 안정된 값을 갖는다<sup>[13]</sup>.

그러나 이러한 NCMA는 가변되는 Step Size  $\mu$  값이 너무 크게 되는 경우가 종종 발생하게 되고 이 때문에 알고리즘이 수렴하지 못하는 경우가 발

생한다<sup>[14]</sup>. 또한 다중 사용자 CDMA 시스템 환경에서 채널의 길이가 증가하고, 셀 내의 User의 수가 증가할 경우에는 채널의 변동에 적절한 응답을 하지 못하고 시스템의 성능을 감소시켜 CMA 보다도 성능이 감소되는 현상이 발생한다<sup>[15]</sup>.

**(2) Modified NCMA 채널 등화 방식**

그림 3-4은 본 논문에서 제안한 Modified NCMA 방식을 이용한 등화기 구조를 나타낸다.

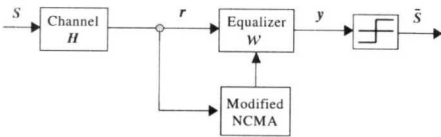


그림 3-3. Modified NCMA 채널 등화 방식

우선 식 (3-1)을 이용하여 좀더 일반적으로 사용되는 2-2 CMA의 탭 갱신 방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$|\mathbf{r}_k^T \mathbf{w}_{k+1}| = \Lambda^2, \tag{3-3}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{w}_{k+1} &= \mathbf{w}_k - \mu y_k (|y_k|^2 - \Lambda^2) \mathbf{r}_k^* \\ &= \mathbf{w}_k - \mu e_k \mathbf{r}_k^* \end{aligned} \tag{3-4}$$

단,  $e_k = y_k (|y_k|^2 - \Lambda^2)$  이다.  $e_k$ 는 비용함수(Cost Function)를 나타내고,  $\mu$ 는 수신 신호 벡터  $\mathbf{r}_k$ 에 대해 Desired Modulus 값을 얻기 위해 갱신된다. 식 (3-3)과 식(3-4)를 이용하여 다시 정리하면 식 (3-5)와 같이  $\mu$ 에 대한 2차 방정식의 형태로 표현된다.

$$|e_k|^2 \|\mathbf{r}_k\|^4 \mu^2 - 2y_k^* e_k \|\mathbf{r}_k\|^2 \mu + |y_k|^2 - \Lambda^2 = 0 \tag{3-5}$$

$$y_k^* e_k = |y_k|^2 (|y_k|^2 - \Lambda^2) \tag{3-6}$$

식 (3-6)의 비용함수는 항상 실수값을 갖는다는 것을 나타내며, 이 식을  $\mu$ 에 대해 정리하면 식 (3-7)과 같다.

$$\mu = \frac{y_k^* e_k \pm \Lambda |e_k|}{|e_k|^2 \|\mathbf{r}_k\|^2} \tag{3-7}$$

식 (3-7)을 2-2 CMA에 적용하기 위해 가장 작은 Non-Negative Solution의 형태로 정리하면 식 (3-8)과 같다.

$$\mu_{\min} = \frac{|y_{kl}^2 - \Lambda|y_{kl}|}{|y_{kl}^2 (|y_{kl}^2 - \Lambda^2)| \|\mathbf{r}_{kl}\|^2} \tag{3-8}$$

하지만 이러한 NCMA 비용함수는 입력되는 수신 Vector에 따라 가변되는  $\mu$  값이 종종 너무 커지는 현상이 발생하고, 이 때문에 알고리즘이 수렴하지 못하고 시스템의 성능을 감소시키는 현상이 발생한다. 이러한 NCMA의 문제점을 개선하고자 첫째로  $\mu$ 의 임계치를 설정하여 변화시키고, 임계치를 초과하면 다시 초기값으로 가변시키는 방법을 이용하여  $\mu$ 의 값이 너무 커지는 현상을 방지할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 다중 사용자 환경에서 변화되는 채널 환경에 적응하기 위해 실험적으로 안정된 특성을 갖는 임계치( $\mu = 1.0$ )를 적용하였다. 두 번째로 등화기 탭 갱신 방정식을 유도하기 위해 식 (3-1)과 식(3-3)을 고려한다.

$$y_k = \mathbf{w}_k^T \mathbf{r}_k, \tag{3-9}$$

$$e_k = y_k (|y_k|^2 - \Lambda^2) \tag{3-10}$$

또한 식 (3-4), (3-6) 그리고 (3-8)을 이용하여 등화기 탭 갱신 방정식에 대해 정리하면 식 (3-13)과 같다.

$$\mathbf{w}_{k+1} = \mathbf{w}_k - \mu y_k (|y_k|^2 - \Lambda^2) \mathbf{r}_k \tag{3-11}$$

$$\mathbf{w}_{k+1} = \mathbf{w}_k - y_k \frac{(|y_k|^2 - \Lambda|y_{kl}|) \cdot (|y_{kl}^2 - \Lambda^2)}{|y_{kl}^2 (|y_{kl}^2 - \Lambda^2)| \|\mathbf{r}_{kl}\|^2} \mathbf{r}_k \tag{3-12}$$

$$= \mathbf{w}_k - \left( \frac{y_k}{|y_{kl}|} \right) \cdot \frac{|y_{kl}^3 - \Lambda|y_{kl}^2 - \Lambda^2|y_{kl}| + \Lambda^3}{(|y_{kl}^2 - \Lambda^2)| \|\mathbf{r}_{kl}\|^2} \mathbf{r}_k \tag{3-13}$$

식 (3-13)에서  $\frac{y_k}{|y_{kl}|}$ 와 BPSK 시스템 환경을 가정하면, Modified NCMA 등화기 탭 갱신 방정식을 식 (3-14)처럼 유도할 수 있다.

$$\mathbf{w}_{k+1} = \mathbf{w}_k - \frac{|y_{kl}^3 - \Lambda|y_{kl}^2 - \Lambda^2|y_{kl}| + \Lambda^3}{(|y_{kl}^2 - \Lambda^2)| \|\mathbf{r}_{kl}\|^2} \mathbf{r}_k, \tag{3-14}$$

for  $y_k > 0$

$$= \mathbf{w}_k - \left( \frac{y_k}{|y_{kl}|} \right) \cdot \frac{|y_{kl}^3 - \Lambda|y_{kl}^2 - \Lambda^2|y_{kl}| + \Lambda^3}{(|y_{kl}^2 - \Lambda^2)| \|\mathbf{r}_{kl}\|^2} \mathbf{r}_k, \tag{3-14}$$

for  $y_k \leq 0$ .

위 식을 이용하여 등화를 하면 기존의 NCMA 알고리즘에서  $\mu$  값이 너무 증가하여 발생하는 Ill-Convergence에 대한 영향을 감소시킬 수 있기 때문에 예측오차에 대한 영향이 필터 계수 전체에 영향을 주어 안정된 수렴 확률과 수렴 속도에 좋은 성능을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 위에서 제안한 Modified NCMA 등화 방식을 모의실험을 통해 DS-CDMA 시스템에 적용하여 성능을 평가하고 분석한다.

표 3-1. Modified NCMA 등화 방식을 이용한 DS-CDMA 파라미터 값

DS-CDMA 파라미터	Value
In Cell User	10
Channel Length	10
Equalizer Length	32
Spreading Gain	31
Simulation Length	5,000
SNR	30
Using Code	Gold
Equalizer Type	BSE
Timming	Chip Synchronous
Step Size	$5 \times 10^{-4}$

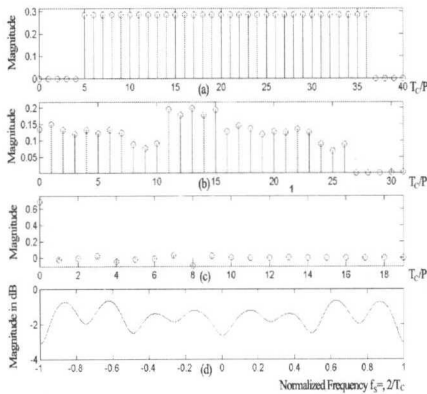


그림 3-4. 사용자가 10명일 때 Modified NCMA 등화 방식을 이용한 1번째 사용자의 채널과 등화기 응답 (a) Spreading Code의 콘볼루션 (b) 등화기 (c) 채널/등화기 결합 (d) 결합된 채널과 등화기의 주파수 응답

그림 3-5는 시스템의 사용자가 10명 일 경우 첫 번째 사용자에게 대해 Modified NCMA 등화 방식의 채널과 등화기 응답을 나타낸 것으로 모의실험에 사용된 DS-CDMA 시스템 파라미터는 3-1과 같다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 DS-CDMA 통신 채널 환경에서 잡음의 영향으로부터 전송된 신호를 복원하기 위해 필수적인 오류 정정 부호 중 IS-95 (Interim Standard-95) 및 CDMA-2000에서 채택한 터보 부호(Turbo Code)에 대해 S-R (Skip-Rotate) 인터리버 및 병렬 구조의 새로운 복호기를 제안하고 이의 이론적 고찰과 모의실험을 통한 분석을 하였다. 또한 블라인드 채널 등화 방식으로 가장 많이 사용되는 CMA 등화 방식을 응용한 새로운 Modified NCMA 등화 방식을 제안하고 이를 DS-CDMA 시스템에서 모의 실험 및 성능 분석을 하였다.

4.1 새로운 S-R 인터리버에 대한 실험 및 고찰

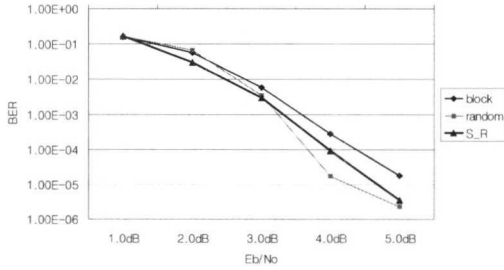
본 논문에서 새로운 S-R 인터리버의 모의 실험을 위해 복호화 알고리즘은 MAP 알고리즘 사용하였고, 터보 부호기는 동일한 2개의 RSC 부호기를 사용하였다. BPSK 변조를 가정하였으며, 구성 부호기의 길이는 메모리 2개를 사용한  $B=3$ , 구성 부호기의 생성 다항식은  $(7,5)_8$ , 부호율  $R_c$ 는 펀처링(Puncturing)을 하여  $1/2$ 을 적용하였다. DS-CDMA 채널 환경에서의 성능 분석을 위해 새로운 인터리버의 채널 모델은 식 (2-3)의 모델을 적용하였고, 반복 복호 횟수는 최대 5회를 적용하여 가변 복호하도록 하였다. 또한 DS-CDMA 시스템 파라미터는 표 4-1에 따라 적용하였으며, 정보 시퀀스의 프레임 크기  $L$ 은 512, 1024 비트인 경우에 대하여 모의 실험하였다.

그림 4-1은 각각의 프레임에 대해 새로운 S-R 인터리버와 기존의 유사한 인터리버와의 성능을 비교한 것이다. 기존의 블록 인터리버에 비해 제안한 S-R 인터리버가  $BER=10^{-5}$  에서 평균 약 0.5dB의 이득을 보였으며, 랜덤 인터리버의 복잡성과 블록 인터리버의 Tail Bits의 영향을 고려할 경우 본 논문에서 새로운 S-R 인터리버를 사용하기를 기대한다.

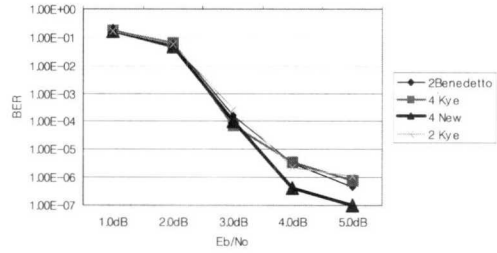
표 4-1. S-R 인터리버의 성능 분석을 위한 DS-CDMA 파라미터 값

DS-CDMA 파라미터	Value
In Cell User	12
Channel Length	2
Spreading Gain	31
Simulation Length	512,1024,4096
SNR	1.0, 2.0, 3.0, 4.0
Using Code	Gold
Timming	Chip Synchronous
In Cell Max Delay	1



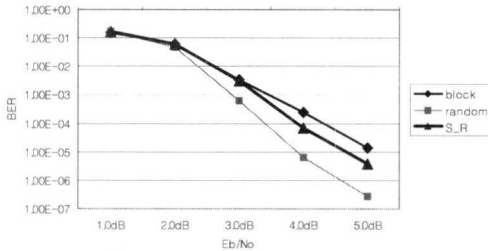


(a) Frame Size (512 bits)



(b) Frame Size (4096 bits)

그림 4-2. Multipath Fading 채널 환경에서 새로운 터보 복호기에 대한 BER 성능



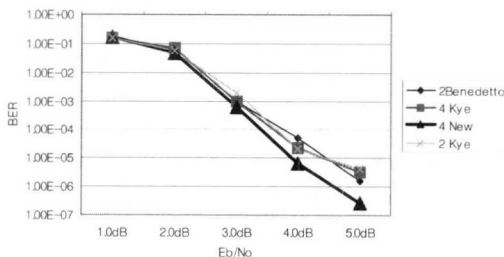
(b) Frame Size (1024 bits)

그림 4-1. Multipath Fading 채널 환경에서 새로운 인터리버에 대한 각 Frame Size에 대한 성능

#### 4.2 4단 병렬 구조의 새로운 터보 복호기에 대한 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 4단 병렬 구조의 복호기의 모의 실험을 위해 정보 시퀀스의 프레임 크기  $L$ 은 1024, 4096 비트인 경우를 제외하고는 4.1절과 같은 환경을 적용하였다. 그림 4-2는 각 Frame Size에 따라 제안한 방식의 새로운 복호기와 기존의 유사한 터보 복호기들의 오차성능(BER)을 비교한 것인데, 성능에 커다란 변화가 있음을 알 수 있다.

그림 4-2에서처럼 기존의 Kye 방식을 이용한 4단 병렬 구조보다 프레임 길이 1024, 4096 비트에 대해 전체 평균 약 0.9dB 정도로 프레임 사이즈가 증가할수록 제안한 병렬 구조의 새로운 복호기의 성능 향상이 두드러지게 개선됨을 알 수 있다.



(a) Frame Size (1024 bits)

#### 4.3 Modified NCMA 채널 등화 방식에 대한 실험 및 고찰

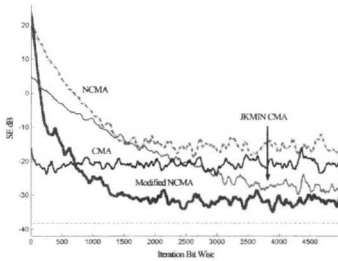
본 논문에서 제안한 Modified NCMA 방식을 이용한 동기식 DS-CDMA 등화 방식의 성능을 모의 실험을 통해 분석한다. 실험 환경은 표 4-2에 따라 적용하였고 각 사용자의 신호는 서로 다른 채널을 임의로 발생시켜 통과하도록 하였다. 확산 코드는 Reverse Link를 가정하였으므로 Non-Orthogonal 특성을 갖는 Gold 코드를 사용하였고, DS-CDMA 시스템 환경이므로 각 사용자들 간의 시간 지연은  $[0, 127T_c]$  값 중에 임의의 값을 사용하였다.

CMA와 JKMIN CMA 방식의  $\mu$ 는  $5 \times 10^{-4}$ 로 고정된 값을 사용하였으며, NCMA 방식에서  $\mu$ 의 초기값은  $5 \times 10^{-4}$ 값을 사용하고 Iteration 수에 따라 가변되도록 하였다. 제안한 Modified NCMA 방식의  $\mu$ 는 초기값으로  $5 \times 10^{-4}$ 를 사용하고,  $\mu$ 의 임계치는 다중 사용자 환경에서 변화되는 채널 환경에서 실험적으로 안정된 특성을 나타내는  $\mu=1.0$ 의 값을 적용하였다.

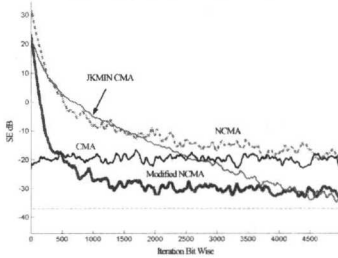
그림 4-3은 셀 내의 사용자 수를 증가 할 경우 자승오차의 변화를 나타낸 것이다. 셀 내의 사용자가 각각 15명, 25명일 때 평균 자승오차의 개선도는 약 12.5dB 정도이다. 그림 5-12는 마지막 500 심볼에 대한 Constellation과 Eye Pattern을 나타낸 것이다. 셀 내의 사용자 수가 증가할수록 NCMA는 성능이 감소하지만, 제안한 Modified NCMA 방식은 성능 감소가 별로 발생하지 않음을 알 수 있다. 따라서 신뢰성 있는 통화품질을 보장하기 위해서 NCMA는 사용자 수를 감소할 수밖에 없으나, 제안한 Modified NCMA 방식을 이용하여 등화를 하면, 셀 내의 사용자 수의 영향을 덜 받아 통화품질이 우수해지고 사용자수를 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

표 4-2. DS-CDMA 시스템 환경에서 Modified NCMA 등화 방식의 Simulation 파라미터 값

DS-CDMA 파라미터	Value
In Cell User	15, 25
Channel Length	10
Equalizer Length	62
Spreading Gain	31
Simulation Length	5,000
SNR	30
Using Code	Gold
Equalizer Type	BSE
Timing	Chip Synchronous
In Cell Max Delay	1

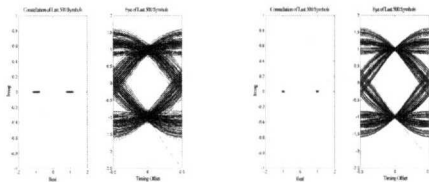


(a) 사용자가 15명일 경우



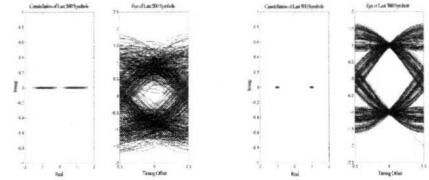
(b) 사용자가 25명일 경우

그림 4-3. MNCMA와 일반적인 등화 방식들의 지승오차



(a)NCMA(사용자 15)

(b)MNCMA(사용자 15)



(c)NCMA(사용자 25) (d)MNCMA(사용자 25)

그림 4-4. Modified NCMA와 NCMA 등화 방식의 Constellation and Eye Pattern

## V. 결론

우선 짧은 프레임 사이즈(Small Frame Size)에 주로 적용하는 블록 인터리버에 대해 새로운 S-R 인터리버를 사용한 경우 각 프레임에 대해 BER =  $10^{-5}$ 에서 평균 약 0.5dB 성능이 개선됨을 알 수 있었지만, 프레임 사이즈가 큰 경우에는 랜덤 인터리버보다 낮은 성능을 보임을 알 수 있다. 하지만 랜덤 인터리버의 복잡성과 블록 인터리버의 Tail Bits의 영향을 고려할 경우 본 논문에서 새로운 S-R 인터리버를 사용하기를 기대한다.

또한 제한한 복호기 구조의 하드웨어 복잡도는 기존의 2단 터보 복호기와 비교하여 2배로 증가하나 이에 대한 보상으로 BER 성능을 평균 약 0.9dB 개선되었다. 새로운 터보 복호기의 하드웨어 복잡도는 현재의 집적회로 기술의 발전 추세에 비추어 볼 때 프로세서의 처리능력과 메모리의 향상으로 실시간 통신 및 신뢰성이 요구되는 통신 시스템에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

그리고 DS-CDMA 시스템에서 NCMA 채널 등화 방식의 단점을 보완한 새로운 Modified NCMA 등화 방식을 이용하여 등화를 하면 사용자 수에 큰 영향을 받지 않고 안정된 수렴 특성을 나타내기 때문에 기존의 NCMA에서  $\mu$  값이 증가하여 발생하는 Ill-convergence에 대한 영향을 최소화 할 수 있다. 따라서 단순하면서도 성능이 좋은 기존의 등화 구조를 그대로 사용할 수 있으며 안정된 수렴 확률과 수렴 속도에 좋은 성능을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## 참고 문헌

- [1] 강경우, 박노진, 강철호, “감소된 복호 지연을 갖는 SOVA 기반 터보 부호에 관한 연구,” 한국통신학회 논문지, 제 25권 제11B호, pp. 736-745, 2000.
- [2] 박노진, 강철호, “CDMA 채널 환경에서 인터리버 설계 및 MAP 기반 터보 부호에 관한 연구,” 한국통신학회 논문지, 제 26권 1B호, pp. 59-66, 2001.
- [3] T. Kashihara, “Adaptive Cancellation of Mutual Interference in Spread Spectrum Multiple Access,” *Proc. IEEE ICC*, pp. 44.4.1-44.4.5, 1980.
- [4] D. H. Woo, T. S. Yoon and Y. S. Byun, “A



Study on Blind Adaptive Receiver for DS-CDMA," *IEICE Trans. Comm.*, Vol. E83-A, No. 6, pp. 1168-1174, June 2000.

[5] J. Treichler and B. Agee, "A New Approach to Multipath Correction of Constant Modulus Signals," *IEEE Trans. ASSP*, Vol. 31, No. 2, pp. 459-471, April 1983.

[6] 민장기, 박노진, 강철호 "비동기 DS-CDMA 시스템에서 채널 등화에 관한 연구", 한국통신학회 논문지, 제 25권 10B호, pp. 1760-1768, 2000.

[7] B. Unal, "Performance of Turbo-Codes in Time-Synchronous BPSK /CDMA Systems and Rayleigh Fading Channel," *VTC'99*, Vol. 3, pp. 1575-1579, September 1999.

[8] D. Brown, D. Anair and C. Johnson, "Fractionally Sampled Linear Detectors for DS-CDMA," *Proc. Asilomar Conf. on Signals, Systems, and Computers(Pacific Grove, CA)*, November 1998.

[9] M. Tsatsans, "Inverse Filtering Criterion for CDMA Systems," *IEEE Comm. Magazine*, Vol. 34, No. 10, October 1996.

[10] 계환원, 구정우, 송홍엽, "병렬구조 복호기에서 LLR의 합을 사용한 터보 부호의 성능분석", 한국통신학회 논문지, 제 24권 11A호, pp. 1678-1684, 1999.

[11] S. Benedetto, D. Divsalar and F. Pollara, "Soft-Output Decoding Algorithm in Iterative Decoding of Turbo Codes," TDA progress rep. 42-124, Jet Propulsion Lab, pp. 63-86, 1995.

[12] D. Jones, "A Normalized Constant-Modulus Algorithm," *Proc. IEEE Proceeding*, Vol. 1, pp. 694-697, 1996.

[13] C. Paradias and D. Slock, "A Normalized Sliding Window Constant Modulus Algorithm for Blind Equalization," *14th GRETSI Symposium on Signal and Image Processing*, Juan Les Pins, France, pp. 507-510, September 1993.

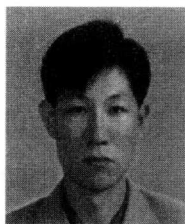
[14] D. Jones, "A Normalized Constant Modulus Algorithm," *Proc. IEEE 29th Asilomar Conf. Signals, Syst., Comput., Pacific Grove, CA*, Vol. 1, pp. 694-697, November 1996.

[15] 박노진, 강철호, "DS-CDMA 시스템에서 정규화된 채널 등화 개선에 관한 연구," 한국통신학회

논문지, 제 26권 6B호, pp. 736-745, 2001.

박 노 진(No-jin Park)

정회원



1992년 2월 : 서울 산업대학교  
매체공학과 공학사  
1998년 2월 : 광운대학교  
전자통신공학과 공학석사  
2002년 2월 : 광운대학교  
전자통신공학과 공학박사  
2002년 7월 현 (주) 다룸코아텍  
기술이사

<주관심 분야> CDMA, 통신 신호처리, 채널 코딩

강 철 호(Chul-ho Kang)

정회원



1975년 2월 : 한양대학교  
전자공학과 공학사  
1979년 2월 : 서울대학교  
전자공학과 공학석사  
1977년~1981년 : 국방과학연구소  
(연구원)

1988년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사  
1994년 4월~현재 : 광운대학교 전자공학부 정교수  
<주관심 분야> 통신 및 음성 신호처리, 이동통신