

# 차세대 무선통신시스템에서 전송효율의 향상을 위한 3차원 인터리버의 설계

정회원 공형운\*, 학생회원 이창희\*

## Design of 3-Dimension Interleaver for Improving of Transmission Efficiency in Next Generation Wireless Communication System

Hyung-Yun Kong\*, Chang-Hee Lee\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 터보코드의 설계를 위한 새로운 인터리버 방식(3차원 블록 인터리버)을 소개한다. 3차원 블록 인터리버는 같은 블록크기를 가지는 2차원의 블록 인터리버보다 최소 비트간의 거리를 크게 할 수 있는 방법으로, 3차원 인터리빙 알고리즘에 의해 계산된 주소 값을 이용하여 입/출력 데이터의 순서를 조절함으로써 데이터의 비트 거리 특성을 향상시킨 것이다. 터보 코드는 데이터 윌, 부호기의 구축장의 길이, 복호방식, 순환복호의 횟수 등 여러 가지 요소들에 의해 성능이 좌우되며, 특히 인터리버의 종류 및 크기의 선택에 따라서 성능의 차이를 보인다. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 3차원 블록 인터리버의 성능을 분석하였으며, 전송 환경을 가우시안 및 비가우시안 채널로 설정하였다.

### ABSTRACT

*In this paper, we propose new interleaving method for turbo codes, named 3-D interleaver (3-Dimension Interleaver). The topic of this paper is to define a 3-D interleaver whose minimal bit distance is longer than a block interleaver with the same size. It uses a matrix input and output at the address given by a driving sequence which is calculated by means of a 3-D interleaver algorithm. The performance of turbo code depends on its code structure, which made up of code rate, constraint length, decoding algorithm, block size, number of decoding iteration and interleaving patterns, specially interleaving patterns and block size. To verify and compare the performance of an proposed method, the computer simulations have been performed in gaussian & non-gaussian channel environments.*

### I. 소개

차세대 무선통신서비스는 음성뿐만 아니라 문자, 영상 등 다양한 종류의 멀티미디어 데이터의 전송을 목표로 하고 있다. 특히 3세대 이동통신서비스인 IMT-2000 시스템은 최대 2Mbps의 전송속도를 보장하여 동영상 데이터의 전송으로 화상전화서비스를 제공하고 있다. 또한, 4세대 이동통신시스템을 포함

하는 차세대 무선통신시스템은 전송대역폭을 증가시켜 화상회의, 원격진료, 원격교육 등 고품질의 데이터 서비스를 목표로 하고 있다. 하지만 고품질의 멀티미디어 데이터를 전송하고자 함은 대역폭, 전송 데이터 윌 등이 고려되어야한다. 그러나, 무선을 이용한 데이터의 전송은 전송채널상의 특성으로 유선에 비하여 전송 중 데이터의 손실의 우려가 더욱 크다는 특성을 가지고 있어 대역폭이나 수신 데이

\* 울산대학교 전자공학과 무선통신연구소(hkong@uou.ulsan.ac.kr)  
논문번호: 00421-1030, 접수일자: 2000년 10월 30일

터의 오류 등의 문제를 가지게 된다. 다양한 종류의 디지털 데이터를 전송하는데 있어서 송신 데이터가 전송 채널 상에서 다양한 형태를 갖는 잡음(noise, fading, multi-path, ISI...)들에 의해서 변형된 신호가 수신되어 본래의 송신 데이터를 제대로 받을 수 없게 된다. 이를 대처하기 위한 기술로 채널코딩은 송신할 때 정보데이터에 일정한 부호화 알고리즘을 이용하여 여분의 비트를 첨가하여 전송하여, 수신측에서 수신된 데이터의 복호 알고리즘에 따라 수신데이터의 오류를 검출 및 정정하게 된다. 현재까지 개발된 많은 채널코딩 부호기 중 터보코드는 오류정정 능력에서 가장 우수한 부호기로 알려져 있다. 이런 터보코드는 1993년에 C. Berrou 등에 의해 제안되었으며 이후 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>[1]</sup>. 터보코드는 병렬연접부호방식(Parallel Concatenated Code)으로 현재 무선 통신시스템에서 사용되어지고 있는 RS(Reed Solomon Code)/콘볼루션코드의 직렬연접부호방식(Serial Concatenate Code)과 비교하여 2.25dB의 부호이득의 성능을 가진다<sup>[2]</sup>. 터보코드의 구성은 그림 1과 같이 두 개의 부호기와 이를 구분하는 인터리버로 구성되어진다. 초창기 C. Berrou에 의해 제시된 터보코드의 부호기방식(Encoder 1, 2)은 RSC (Recursive Systematic Convolutional) 코드이다. RSC는 일반적인 콘볼루션코드와 비슷한 형태를 가지며 귀환되는 부분이 있어 연속적인 동일한 부호의 입력에 대하여 전력을 평균적으로 분할 할 수 있다는 장점을 가진다. 또한 입력 데이터가 부호어의 한 부분을 차지하는 조직부호(Systematic Code)의 특성을 가지고 있다. 터보코드는 일반적으로 두 개의 부호기로 구성되는데 이는 보통 동일한 부호기를 사용하고, 하나의 부호기(Encoder 1)는 정보 데이터의 입력에 따라 부호어( $y^{(1)}$ )를 만들어낸다. 다른 하나의 부호기(Encoder 2)는 입력 정보데이터에 인터리빙이라는 끼워넣기 처리를 한 데이터가 입력 데이터로 사용되어 부호어( $y^{(2)}$ )를 만들어 내게 된다. 즉, 두 부호기의 입력은 서로 다른 순서를 가지는 정보데이터가 입력되어 부호어가 생성됨으로써 우수한 성능을 가지게 된다. 터보코드의 가장 큰 특성으로는 순환 복호방식과 다양한 알고리즘을 이용한 복호방식(MAP, SOVA 등)의 이용, 인터리버의 종류와 크기 등을 들 수 있다.

기존의 블록 인터리버는 구조는 간단하지만 비트간의 최소 거리를 충분히 크게 할 수 없는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서 제시하고 있는 3차원 블

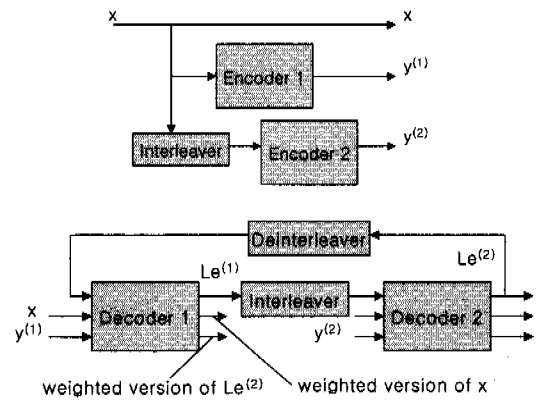


그림 1. 터보코드의 부호기와 복호기

록 인터리버는 3차원의 축( $x, y, z$ )을 가지고 어느 하나의 축을 이용하여 입력과 출력력을 하는 것으로 기존의 블록 인터리버와 비교하여 간단한 구조를 가지면서, 비트간의 최소거리를 최대화 할 수 있는 방식이다. 3차원 블록 인터리버는 터보코드의 인터리버로 뿐만 아니라 직렬연접부호방식에서도 이용이 가능한 인터리버이다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3차원 인터리버가 가지는 여러 가지 특성들과 그 동작의 원리에 관하여 설명한다. 그리고, 3장에서는 3차원 인터리버를 사용한 터보코드의 정정능력에 대하여 성능을 분석하고, 마지막으로 4장에서 본 논문의 결론을 내린다.

## II. 3차원 블록 인터리버의 설계

### 1. 인터리버의 설계

인터리버란 입력된 데이터의 순서를 바꾸어 출력함으로써 메모리를 가지는 전송 채널에 의한 연속된 오류(burst error)를 최소화시키는 방식이다. 인터리버는 현재 대부분의 통신시스템에서 사용하는 방식으로 연접부호방식에 이용됨으로써 통신시스템의 전송 성능 및 효율을 향상시킨다.

#### 1.1 3차원 블록 인터리버의 설계

터보코드는 인터리버에 의해 전송 데이터의 부호화처리가 이루어지기 때문에, 인터리버의 성능이 부호기 전체의 성능을 좌우하는 중요한 요소가 된다. 터보코드에 이용되어지는 인터리버를 설계하는데 있어 중요한 요소들을 설명하면 다음과 같다<sup>[3],[4]</sup>.

- 입력데이터와 출력데이터간의 상관성의 최소화
- 비트거리의 최대화

- 상호대칭형의 인터리버 설계
- 자체적으로 Termination이 가능한 인터리버 설계

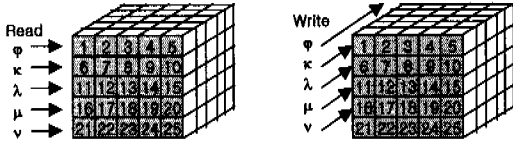


그림 2. 3차원 블록 인터리버의 동작

터보코드의 성능을 좌우할 수 있는 요소 중의 하나로 인터리버의 종류와 블록크기를 들 수 있다. 인터리버의 크기가 커질수록 부호기의 성능을 향상시키게 된다. 이러한 특성을 감안하여 본 논문에서는 동일한 크기의 인터리버를 이용하여 성능을 비교 분석하였다. 본 장에서는 터보코드에 적용이 가능한 3차원 블록 인터리버의 개념과 동작특성에 대하여 설명하고 있다. 3차원 블록 인터리버는 2차원 블록 인터리버보다 하나의 차원을 더한 개념으로 그림 2와 같이 표현할 수 있다. 그림 2는  $k \times l \times m$ 의 축을 가지는 3차원 공간상의 메모리가 쌓여진 구조를 가진다. 여기서 인터리버의 크기는  $k \times l \times m$ 이 되고, 최소 비트간의 거리는 2차원( $k \times l$ ,  $l \times m$ ,  $k \times m$ )의 크기를 갖는다. 3차원 블록 인터리버는 2차원 블록 인터리버와 구조적인 특성이 비슷하고 동작의 특성이 간단하며, 컨볼루션 인터리버, PN 인터리버와 랜덤 인터리버등과 비교하여 구조, 동작이 간단하다. 여기서, 입력 시퀀스는 x, y, z의 순으로 입력이 되어지고, 인터리버의 출력은 z,y,x의 순을 따르게 된다. 즉 입력은 1,2,3,4,5,6,7,8...의 순서로 메모리에 입력이되고, 1,26,51,76,101,6,31,56,81,106,11...의 순서로 출력이 되어진다. 여기서 숫자가 나타내는 것은 입력데이터의 순서를 나타낸 것이다. 3차원 블록 인터리버의 특성을 알기 위해서 동일한 크기를 갖는 기존의 2차원 블록 인터리버와 간단히 비교해 보면 다음과 같다. 비교적 동일한 환경에서 특성을 파악하기 위해 2차원 블록 인터리버의 블록의 크기를 121, 3차원 블록 인터리버의 경우에 125로 설정하여, 블록거리 및 비트거리에 대한 특성을 비교한다. 그림 3은 (11×11) 2차원 인터리버의 구조를 나타낸 것이다.

2차원 블록 인터리버는 x,y의 순으로 입력이 되고, 출력은 y,x의 순을 따르게 된다. 즉, 행의 입력에 열의 출력순서를 갖게 되는 것이다. 입력 시퀀스와 출력 시퀀스는 다음과 같다.

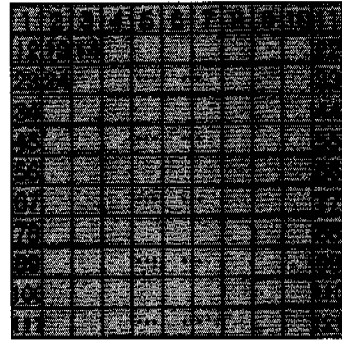
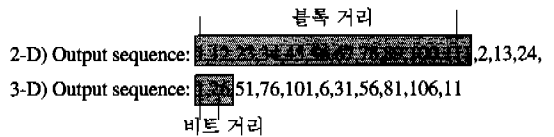


그림 3. (11×11) 2차원 인터리버의 구조

- 입력 시퀀스 : 1,2,3,4,5,6,7,8,9....
- 출력 시퀀스 : 1,12,23,34,45,56,67,78,89,100...

3차원 블록 인터리버와 2차원 블록 인터리버의 블록 거리와 비트 거리를 비교해 보면 다음과 같다.



여기서, 블록 거리는 가장 근접한 순서의 값이 어느 정도의 거리를 가지느냐를 나타낸 것이고, 비트 거리는 연속적인 순서를 갖는 값이 얼마의 거리를 가지느냐를 나타낸 것이다. 위의 예에서 알 수 있듯이 3차원 블록 인터리버가 블록거리에서는 약점을 보이지만 비트 거리에서는 장점을 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 블록거리의 약점은 적절한 코드 시스템의 설계로 보완할 수 있다. 블록코드에 적용된 3차원 블록 인터리버는 블록거리를 블록코드의 코드워드의 길이보다 길게 하여 인터리버를 구성하면 블록거리에 대한 문제점을 보완할 수 있다. 블록코드는 코드워드 간에 서로 독립적인 성격을 가지고 있기 때문에 코드워드 내에서의 근접한 비트가 포함되지 않는다면 인터리버에 의한 비트 거리의 이격 효과를 가져 올 수 있다. 또한, 컨볼루션 부호 계열에 인터리버를 구성한다면 구속장의 길이(메모리의 수)에 해당하는 수만큼 블록거리를 둔다면 3차원 블록 인터리버가 가지는 블록거리에 대한 문제를 해결할 수 있다.

### 1.2 3차원 블록 인터리버의 특성

3차원 블록 인터리버의 경우에 2차원 블록 인터리버와 비교해서 블록 거리는 짧지만 비트거리는

길다. 비트거리가 길어지는 것은 인터리버의 성능을 가늠하는 중요한 요소가 되며, 표 1.은 인터리버의 방식에 따른 비교를 나타내고 있다.

표 1. 인터리버에 따른 거리 특성비교

	블록거리		비트거리	
	11	1차원의 거리	11	1차원의 거리
2차원 블록 인터리버	11	1차원의 거리	11	1차원의 거리
3차원 블록 인터리버	5	1차원의 거리	25	2차원의 거리

여기서, 연속적인 오류를 나타내는 특성은 비트 거리에 의한 값에 많은 비중을 가지게 된다. 또한, 블록 거리에 대해 기존의 2차원 블록 인터리버보다 나쁜 성능을 가져오게 되는데 이는 연접부호기의 구조를 적절하게 구성한다면 블록 거리에 대한 문제를 해결할 수 있다. 블록 거리라는 것은 근접한 비트에 대한 거리로 근접한 거리의 비트가 현재 부호화되고 있는 데이터의 입력에 영향을 미치지 않도록 부호기를 구성하면 된다. 만약 블록 코드의 경우에는 블록 코드의 입력 데이터의 크기를 블록 거리보다 작게 한다면 블록거리에 의한 문제는 전혀 발생하지 않게 된다. 블록코드라는 것은 일정한 블록단위로 부호화과정을 거치게 되고, 일정 블록단위를 벗어난 입력 데이터에 대해서는 부호어간에 전혀 영향을 미치지 않기 때문이다. 또한, 콘볼루션날 코드의 경우에는 구속장의 길이를 블록 거리보다 작게하여 구성하면 블록거리에 대한 문제를 최소화할 수 있다.

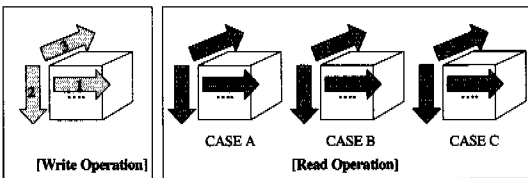


그림 4. 3차원 블록 인터리버의 입력과 출력의 순서

그림 4는 3차원 블록 인터리버의 입력순서와 출력순서에 대한 설명을 나타낸 것으로 모의실험 결과에서도 알 수 있듯이 3차원 블록 인터리버의 경우에는 출력되어지는 방향에 따라 비트거리, 블록거리가 달라져서 성능을 변화시키는 요인이 된다. 그림 4의 입출력에 대한 블록거리와 비트거리에 대한

특성을 살펴보면 다음과 같다.

CASE A, B, C 에 대한 블록거리와 비트거리는 다음과 같다.

CASE A : 출력 시퀀스	블록거리=5 1, 26, 51, 76, 101, 6, 31, 56, 81, 106, 11 ...
CASE B : 출력 시퀀스	블록거리=5 1, 6, 11, 16, 21, 2, 7, 12, 17, 22, 3, 8 ...
CASE C : 출력 시퀀스	블록거리=5 1, 26, 51, 76, 101, 2, 27, 52, 77, 102, 3 ...

CASE A, B, C 경우에 대하여 모두 블록 거리는 거의 변화가 없는 것으로 나타나지만 비트 거리는 많은 차이를 나타내는 것을 알 수 있다. 인터리버의 성능은 인접한 비트간의 연속적인 오류(burst error)에 대하여 우수한 성능을 가지도록 설계를 하여야 한다. 즉, 3차원 인터리버의 경우에도 입,출력 방향에 따라서 2차원 블록 인터리버보다 성능이 우수하게 설계되어질 수도 있고, 그렇지 않을 경우도 발생할 수 있다.

### III. 모의실험 결과

그림 5는 CASE A, B, C 에 대한 2차원 블록 인터리버와 BER 성능을 비교한 것이다. 시뮬레이션 환경은 모두 터보코드의 인터리버로 이용되었고, 전송 채널은 일반적인 가우시안 채널로 설정하였다.

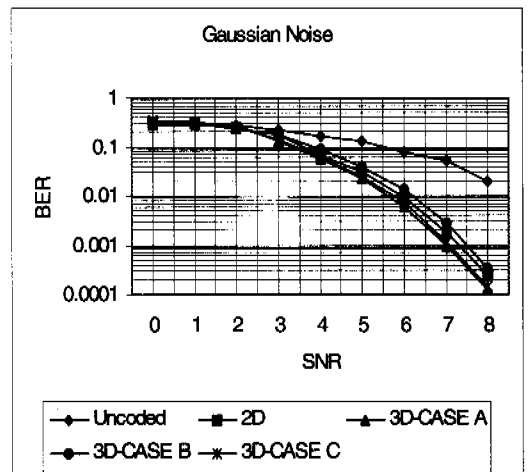


그림 5. 가우시안 채널에서의 3차원 블록 인터리버의 성능 분석

위의 시뮬레이션 결과에서  $x,y,z$ 의 입력에  $z,y,x$ 의 출력(CASE A)은 우리가 기대하던 결과를 얻을 수 있었다. CASE A는 최소 비트 거리가 2차원 만큼의 거리를 가지게 되기 때문에 기존의 블록 인터리버와 비교하여 좋은 결과를 얻을 수 있다. 그러나,  $x,y,z$ 의 입력에  $y,x,z$ 의 출력(CASE B)은 블록거리, 비트거리 모두 기존의 2차원 블록 인터리버보다 적은 것을 알 수 있다. CASE B는 블록거리, 비트거리 모두 1차원의 성질을 가지게 되고, 만약 같은 크기의 인터리버를 구성한다면 하나의 차원이 가지는 거리는 2차원 블록 인터리버보다 3차원 블록 인터리버의 크기가 작기 때문에 상대적으로 거리가 작아진다. CASE B의 성능분석에서는 기존의 2차원 블록 인터리버방식 보다 0.2 dB 정도 나쁜 부호화 이득을 보인다. 또한, 비트거리와 블록거리가 같은 CASE C와 CASE A는 거의 비슷한 성능을 보임을 알 수 있었다. 즉, 3차원 블록 인터리버를 CASE A와 같이 구성하였을 때 기존의 2차원 블록 인터리버보다 약 0.2 dB의 부호화이득을 보임을 알 수 있었다.

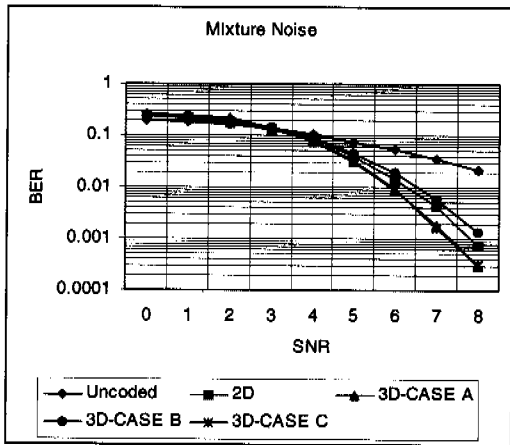


그림 6. Mixture 잡음 채널에서의 3 차원 인터리버의 성능 분석

그림 6은 Mixture 잡음 채널에 대한 성능을 나타낸 것으로 전체적인 BER 성능은 낮아졌고, 부호기에 따른 결과는 채널을 가우시안으로 설정했을 때와 거의 비슷한 폭선평성을 나타내고 있다. 또한 Mixture 잡음 채널에서는 가우시안 채널에서 보다 CASE A와 CASE C의 성능폭선이 거의 일치함을 보이고 있다. 이러한 결과는 비트거리와 블록거리의 성능차이가 코드 시스템의 BER 성능을 좌우하는 하나의 특성이기 때문이다.

#### IV. 결론

차세대 이동통신시스템은 높은 데이터 전송과 광대역의 특성을 가지고 있어 한정된 주파수 대역에서 최대의 전송율을 가지도록 하는 것이 전송 기술의 목적이라 할 수 있다. 이러한 측면에서 무선이라는 열악한 채널환경을 이용하는 무선이동통신시스템은 전송 중 오류에 대해 효과적으로 대처할 수 있는 FEC 부호화기법에 대한 연구는 상당히 중요한 부분이다. 본 논문에서는 최근 FEC 부호화기법중의 하나로 주목받고 있는 터보코드에 이용이 가능한 새로운 3차원 블록 인터리버 방식을 제시하였다. 3차원 블록 인터리버는 3차원의 축( $x, y, z$ )을 가지고 어느 하나의 축을 이용하여 입력과 출력을 하는 것으로 기존의 블록 인터리버와 비교하여 간단한 구조를 가지면서, 비트간의 최소거리를 최대화 할 수 있는 방식이다. 터보코드는 병렬 연접부호화 방식으로 부호기 인터리버의 종류와 크기의 선택은 성능을 가늠할 정도로 중요하다. 3차원 블록 인터리버는 기존의 2차원 블록 인터리버보다 약 0.5dB의 성능이 개선됨을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있다. 이를 바탕으로 하여 3차원 블록 인터리버의 블록거리에 대한 단점을 보완하기 위해 다양한 방법(랜덤 인터리버 및 S-랜덤 인터리버 등)으로 접근하여 성능향상을 위한 연구를 할 계획이다.

#### 참고 문헌

- [1] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon Limit Error-Correcting Coding: Turbo Codes", *Proc., 1993 IEEE International Conference on Communications*, pp. 1064-1070, May, 1993.
- [2] Charles C. Wangs, "On the Performance of Turbo codes", *Military Communications Conference, 1998. MILCOM 98. Proceedings., IEEE Vol. 3*, pp 987-992, 1998
- [3] Johan Hokfelt, Ove Edfors and Torleiv Maseng, "Interleaver design for turbo codes based on the performance of iterative decoding", *ICC'99. IEEE International Conference on Communications, Vol.1.* pp 93-97, 1999
- [4] Mustafa Eroz, A. Roger Hammons Jr., "On

