

터보코드에 적용을 위한 세미 랜덤 인터리버 알고리즘의 제안

홍 성 원[†] · 박 진 수^{††}

요 약

터보코드는 인터리버의 크기가 클수록, 반복 복호횟수가 많을수록 복호 성능은 우수하지만 시스템이 복잡해져 한 개의 정보비트를 복호할 때 많은 시간지연을 발생시켜 실시간 통신에는 부적합하다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 터보코드 부·복호기에 사용되는 인터리버의 크기를 감소시켜 한 개의 정보비트를 복호할 때 소요되는 시간지연을 줄이는 새로운 세미 랜덤(Semi-Random) 인터리버 알고리즘을 제안하였다. 세미 랜덤 인터리버 알고리즘은 입력 데이터 길이의 1/2 크기만큼 인터리버를 구성하고, 인터리버 내에 쓸 때는 블록 인터리버 처럼 행으로 쓰고, 읽을 때는 랜덤하게 읽음과 동시에 다음 데이터가 그 주소 번지에 위치하게 된다. 따라서 기존의 블록, 대각, 랜덤 인터리버와 알고리즘의 복잡도를 비교할 시 그 복잡도를 1/2로 감소시킬수 있게 된다.

The Presentation of Semi-Random Interleaver Algorithm for Turbo Code

Sung-Won Hong[†] · Jin-Soo Park^{††}

ABSTRACT

Turbo code has excellent decoding performance but had limitations for real time communications because of the system complexity and time delay in decoding procedure. To overcome this problem, a new SRI(Semi-Random Interleaver) algorithm which realize the reduction of the interleaver size is proposed for reducing the time delay during the decoding procedure.

SRI algorithm compose the interleaver 0.5 size from the input data sequence. In writing the interleaver, data is recorded by row such as block interleaver. But, in reading, data is read by randomly and the text data is located by the just address simultaneously. Therefore, the processing time of with the pre-existing method such as block, helical, random interleaver.

* 본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

† 정 회 원 : 모아통신(주) 선임연구원

†† 정 회 원 : 청주대학교 첨단공학부 교수

논문접수 : 1999년 10월 15일, 심사완료 : 2000년 1월 4일

1. 서 론

터보코드는 1993년 C. Berrou가 ICC(International Conference on Communications)에서 “Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo Codes”[1] 라는 논문을 발표하면서 소개되기 시작하여 그 우수 한 복호 성능 때문에 많은 분야에서 연구되기 시작하였다[2-8].

터보 부호기(그림 1)은 두개의 RSC(Recursive Systematic Convolutional) 부호와 인터리버(interleaver)로 구성되어 있다. RSC 부호는 조직 길썬부호(systematic convolutional code)에 제한이 더해진 형태이다. 터보 부호기(그림 2)는 부호기의 두 RSC 부호에 대한 복호기가 직렬로 연결되어 있으며, 각 복호기에서는 MAP(Maximum a Posteriori) 복호 알고리즘[9, 10] 또는 SOVA (Soft-Output Viterbi Algorithm)[11]를 이용하여 복호를 수행한다.

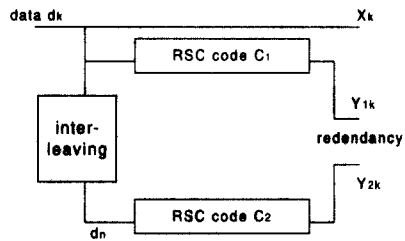
터보코드가 우수한 성능을 내는 가장 큰 이유는 부호기에 내재하는 인터리버와 복호기에서의 반복 복호 때문이다. 그러나 인터리버의 크기가 클수록, 반복 복호 횟수가 많을수록 터보코드의 복호 성능은 우수하지만 시스템이 복잡해져 한 개의 정보비트를 복호할 때 많은 시간지연을 발생시켜 실시간 통신에는 부적합하다는 단점이 있다.

따라서 터보코드의 중요한 성능 파라메타인 인터리버는 페이딩 채널에서 발생하는 연접오류(burst error)에 대비하기 위하여 사용하는 시간 다이버시티의 형태로 부호어를 분산시켜서 비트와 비트를 서로 독립적으로 페이딩이 되도록 하는 것이다[12]. 이 경우 연접오류는 다수의 부호어에 속하는 다수의 비트군에 영향을 미친다. 부호화된 메시지를 전송하기 전 인터리빙을 하고, 메시지를 수신한 후에 역 인터리빙을 행하는데 채널에 오류가 연접으로 발생할 경우 시간적으로 이것을 확산시킴으로 부호기에서는 랜덤 오류처럼 되어 오류 정정이 가능하다. 그 결과 오류는 메시지 전체에 영향을 주어 영향을 받지 않은 비트로부터 복원시키는 것이 가능하다. 인터리버는 메모리를 사용하여 구현할 수 있으며, 무선 페이딩 채널하에서 디지털 신호를 전송할 때 그 품질을 향상시킬 수 있다. 그러나 부가적으로 시간지연과 메모리의 공간을 더 많이 요구하며,

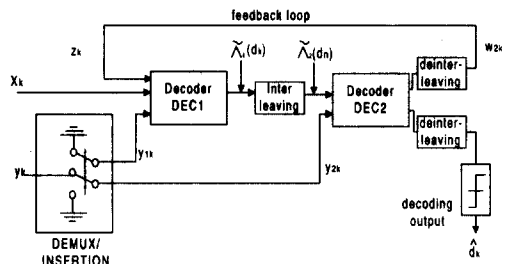
시스템의 복잡도가 높아져 비용이 비싸지는 단점이 존재한다[13-21].

이를 위해 본 논문에서는 (그림 1), (그림 2)에서 나타냈듯이 터보코드는 부·복호기에 사용되는 2개의 인터리버와 2개의 역 인터리버의 크기를 감소시켜 한 개의 정보비트를 복호할 때 발생하는 시간지연을 줄이는 새로운 세미 랜덤(Semi-Random) 인터리버 알고리즘을 제안하고자 한다. 세미 랜덤 인터리버 알고리즘은 입력 데이터 길이의 1/2 크기만큼 인터리버를 구성하고, 인터리버 내에 쓸 때는 블록 인터리버와 동일하게 행으로 쓰고, 읽을 때는 랜덤하게 읽음과 동시에 다음 데이터가 그 주소 번지에 위치하게 된다. 따라서 기존의 블록, 대가, 랜덤 인터리버와 알고리즘의 복잡도를 비교할 시 그 복잡도를 1/2로 감소시킬 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존의 인터리버에 대해 살펴보고, 제 3장에서는 제안한 방법인 세미 랜덤 인터리버에 대해 다루고자 한다. 또한 제 4장에서는 알고리즘 복잡도를 통해 제안한 방법과 기존의 방법과의 비교, 고찰을 행하고자 하며, 제 5장에서는 결론을 맺고자 한다.



(그림 1) 터보코드의 부호기



(그림 2) 터보코드의 복호기

2. 기존의 인터리버

본 장에서는 기존의 인터리버 방법인[22] 블록 인터리버, 대각 인터리버 그리고 랜덤 인터리버에 대해 살펴보자 한다.

2.1 블록 인터리버

블록 인터리버는 부호기로부터 블록 내에 부호화된 심볼을 입력받아 심볼을 재배치하고, 변조기로 재배치된 심볼을 전송한다. 입력 비트의 계열 <표 1>, <표 2>는 $N \times M$ 배열이라고 한다면, 정보 비트의 계열을 블록 인터리버 내에 <표 1>과 같이 행으로 데이터를 쓰고, 배열이 완전히 채워지면 심볼은 한번에 한 열씩 <표 2> 변조기로 보내지고 채널을 통하여 전송된다. 수신된 후에 그것의 역 동작인 역 인터리버를 실행하는데, 수신기는 복조기로부터 심볼을 수신하여 역 인터리버를 하고 복호기로 전송된다. 심볼은 열로 역 인터리버 배열안으로 들어가고 행으로 전송된다.

<표 1> 인터리버 내에 쓸 때

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

<표 2> 인터리버를 읽을 때

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

2.2 대각 인터리버

입력 비트의 계열을 $N \times (N+1)$ 행렬로 보고 행으로 <표 3> 데이터를 쓰고 배열이 완전히 채워지면 <표 4>와 같이 대각으로 데이터를 읽는 방식이다. 대각 인터리버를 사용할 경우 연립 오류는 $N+1$ 만큼 분산되어 나타난다.

<표 3> 인터리버 내에 쓸 때

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20

<표 4> 인터리버를 읽을 때

16	12	8	4	20
11	7	3	19	15
6	2	18	14	10
1	17	13	9	5

2.3 랜덤 인터리버

입력된 정보 비트를 랜덤하게 재배열하여, 출력으

로 내 보내기 위한 정보 또한 규정된 난수 체계를 이용하여 난수를 발생시킴으로써 랜덤하게 출력한다. 랜덤 인터리버의 Lookup-table을 만드는 알고리즘은 다음과 같다.

단계1. 크기가 2^M 인 배열 A를 0로 초기화하고 $m=0$ 로 함

단계2. $m \leq 2^M - 1$ 에 대하여 0과 $2^M - 1$ 사이의 난수 p를 발생

단계3. 만약 $A[p]=0$ 이면 $A[p]$ 를 1로 두고 배열 B의 m 위치에 p를 저장한다. 즉 $B[m]=p$, $m=m+1$, 단계2로 간다. 배열 B는 소스와 목적지의 관계를 결정하는데, 만약 $B[m]=p$ 이면 주소 m에 위치한 비트는 주소 p로 보내진다.

3. 세미 랜덤 인터리버 알고리즘의 제시

기존의 블록, 대각 인터리버는 입력비트의 수가 S이라고 하면, 인터리버의 크기는 $S=N \times M$ 으로 구성되어 데이터를 일정한 규칙에 의해 읽고 쓴다. 그리고 데이터를 랜덤하게 읽고 쓰는 랜덤 인터리버의 크기 또한 $S=N \times M$ 이다.

본 논문에서 제안한 세미 랜덤 인터리버 알고리즘은 블록, 대각 인터리버처럼 데이터를 인터리버 내에 쓸 때는 규칙성을 갖고 데이터를 쓰고, 데이터를 읽을 때는 랜덤 인터리버처럼 데이터를 랜덤하게 읽는다. 제안한 세미 랜덤 인터리버의 알고리즘은 다음과 같다. 입력 비트의 수가 S이라고 하면 인터리버의 크기는 $S/2$ 으로서 인터리버를 구성하고, 순차적으로 데이터를 메모리 내에 행으로 저장한다. 메모리 내에 데이터가 모두 저장되면 랜덤하게 난수를 발생하여 데이터를 읽는다. 이때 메모리 내의 데이터를 읽음과 동시에 $S/2+1$ 번째 데이터가 그 위치에 입력된다. 이렇게 해서 메모리 내의 모든 데이터를 읽는다. 단, 메모리 내의 모든 데이터를 읽을 때 동일한 데이터의 번지 값은 모든 메모리의 번지 값이 한번씩 읽기 전에는 두 번 중복해서 읽지 않는다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘을 예를 들어서 설명하도록 해보자. 입력 비트의 값 $S=16$ 이라고 하면, 1, 2, 3, 4, 5, ..., 14, 15, 16로서 인터리버의 크기는 2×4 로 구성되어 메모리의 수는 8개가 된다. 입력되는 비트는 행으로 순차적으로 아래 <표 5> 처럼 쓰여진다.

<표 5> 인터리버 내에 쓸 때

1	2	3	4
5	6	7	8

첫번째에서 S/2번째인 8번째 데이터까지는 가로로 먼저 메모리 내에 쓰여지며, 읽을 때는 랜덤하게 난수를 발생하여 읽는다. 그 과정을 살펴보면 <표 6>과 같다. 만약 5번째 주소번지의 데이터를 읽고 전송되면 S/2+1번째인 9번째 데이터가 그 빈 주소 번지에 위치하게 되며, 다음으로 2번째 주소번지의 데이터를 읽고 전송되면 S/2+2번째인 10번째 데이터가 그 빈 주소 번지에 위치하게 된다. 그리고 7번째 주소번지의 데이터를 읽고 전송되면 S/2+3번째인 11번째 데이터가 빈 주소 번지에 위치하게 된다. 다음으로 6번째 주소번지를 읽고 전송되면 S/2+4번째인 12번째 데이터가 빈 주소 번지에 위치하며, 1번째 주소번지를 읽고 전송되면 S/2+5번째인 13번째 데이터가 빈 주소 번지에 위치 위치하고, 4번째 주소번지를 읽고 전송되면 S/2+6번째인 14번째 데이터가 그 빈 주소 번지에 위치하게 된다. 그리고 3번째 주소번지의 데이터를 읽고 전송되면 S/2+7번째인 15번째 데이터가 그 빈 주소 번지에 위치하고, 8번째 데이터를 읽고 전송되면 S/2+8번째인 16 번째 데이터가 그 빈 주소 번지에 위치함으로써 데이터를 인터리버 내에 쓰고 읽는 과정을 반복한다.

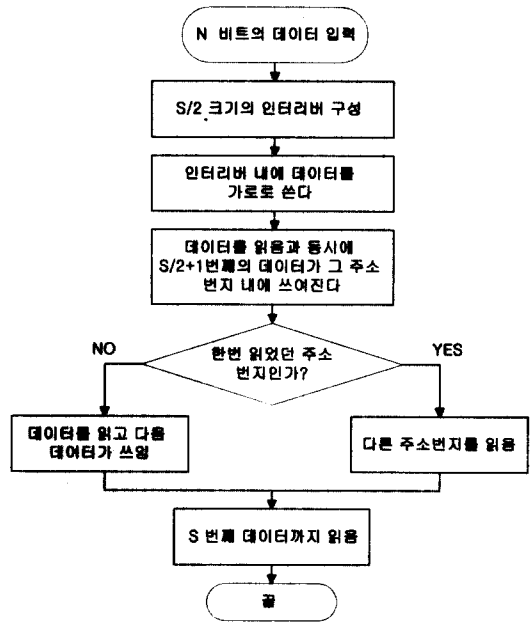
<표 6> 인터리버를 읽는 쓰는 과정

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

이런 순서로 1에서 16번째 비트를 한번씩 메모리 내에 있는 모든 데이터를 읽는다. 위의 방법으로 읽은 데이터는 변조기로 전송되며 이때 전송되는 비트의 순서는 5, 2, 7, 6, 1, 4, 3, 8이고 두 번째에도 랜덤하게 데이터를 읽어서 전송된다. 이때의 조건은 메모리 내의 주소 번지 값을 한번씩 모두 읽기 전에는 반복해서 읽지 않는다.

변조기에 의해 변조된 신호는 채널을 통하여 전송되고 송신기에서는 위의 신호를 수신하여 복조기를 통하여 복조한 후 역 인터리버를 통하여 원래의 데이터의 순서인 1, 2, 3,.....15, 16으로 복원한다.

역 인터리버를 시행할 때 인터리버에서 인터리빙된 데이터는 메모리 내의 주소 번지 값을 기억하고 있어야 한다. 이상과 같은 제안한 세미 랜덤 인터리버 알고리즘을 흐름도로 나타내면 (그림 3)과 같다.



(그림 3) 제안한 알고리즘 흐름도

4. 제안한 인터리버와 기존의 인터리버와의 알고리즘 복잡도 (Algorithm Complexing) 비교

현재 이동통신 시스템에서 사용되는 블록, 대각 인터리버는 구조가 간단하여 많이 사용되고 있으나 성능이 랜덤 인터리버와 비교하여 떨어진다[22]. 그러나 우수한 복호 성능 때문에 활발히 연구되고 있는 랜덤 인터리버는 성능이 다른 블록과 대각 인터리버와 비교하여 우수하지만 데이터를 랜덤하게 읽고 쓰기 때문에 구현상의 어려움이 있다[1, 23]. 만약 터보코드를 이동통신 시스템에 적용할 경우 한 개의 정보비트를 복호하기 위해 MAP 복호 알고리즘은 트렐리스 상에서 순방향과 역방향 메트릭 값을 계산 해야하며, 터보코드의 고유한 특성을 살리기 위해 반복복호를 실행함으로써 심각한 시간 지연이 발생한다. 뿐만 아니라 인터리버 2개와 역 인터리버 2개를 사용함으로써 한 개의 정보비트를 복호하기 위한 메트릭의 계산횟수 즉, 복잡도가

〈표 7〉 제안한 인터리버와 기존의 인터리버와의 알고리즘 복잡도 비교

비교항목 \ 방법론	블록 인터리버	대각 인터리버	랜덤 인터리버	제안한 인터리버 (세미 랜덤 인터리버)
방 법	데이터를 인터리버에 가로로 쓰고 세로로 읽음	데이터를 인터리버에 가로로 쓰고 대각으로 읽음	데이터를 인터리버에 랜덤하게 쓰고 랜덤하게 읽음	데이터를 인터리버에 가로로 쓰고, 랜덤하게 읽음과 동시에 다음 데이터가 입력됨
장 점	알고리즘이 간단	시스템에 적용시 블록 인터리버보다 성능이 우수	구현은 복잡하지만 시스템에 적용시 블록, 대각 인터리버보다 우수함	인터리버의 크기를 1/2로 감소시켜 데이터를 인터리버에서 읽음과 동시에 쓰기 때문에 인터리버의 크기가 1/2로 감소됨
단 점	시스템에 적용시 대각, 랜덤인터리버보다 성능이 떨어짐	블록 인터리버보다 알고리즘이 복잡함	랜덤하게 데이터를 읽고, 쓰기 때문에 알고리즘이 복잡함	시스템에 적용해 봐야 하는 단계가 남아 있음
연산횟수	O(S)	O(S)	O(S)	O(S/2)

s : 인터리버의 크기

높아 심각한 시간 지연이 발생하여 실시간을 요하는 무선 이동 통신 시스템에 적용하기는 매우 어려운 단점이 있다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 세미 랜덤 인터리버를 제안하였다. 제안한 세미 랜덤 인터리버와 기존의 블록, 대각, 랜덤 인터리버 알고리즘과 비교하면 <표 7>과 같다. <표 7>에서 알수 있듯이 제안한 세미 랜덤 인터리버 알고리즘이 그 복잡도가 기존의 인터리버 알고리즘과 비교하여 1/2로 감소함을 알 수 있다. 이로인해 시스템이 간단해지며, 데이터를 인터리버 내에 읽음과 동시에 다음 데이터가 그 주소 번지에 쓰여지기 때문에 시간 지연을 감소시킬 수 있음을 알 수 있었다.

5. 결 론

인터리빙의 기본적인 원리는 부호화된 메시지를 전송하기 전 인터리빙을 하고, 메시지를 수신한 후에 역 인터리빙을 행하는데 채널에 오류가 연접으로 발생할 경우 시간적으로 이것을 확산시킴으로 복호기에서는 랜덤 오류처럼 되어 오류정정이 가능하다. 따라서 무선 페이딩 채널하에서 디지털 신호를 전송할 때 품질을 향상시킨다. 그러나 부가적으로 시간지연과 메모리의 공간을 더 많이 요구하며, 시스템의 복잡도가 높아져 비용이 비싸지는 단점이 있다.

본 논문에서는 인터리버에 대한 새로운 세미 랜덤 인터리버 알고리즘을 제시하여 기존의 인터리버와 알고리즘 복잡도를 비교할 시 1/2로 감소시켜 시스템이 간단해지며, 데이터를 인터리버에 읽음과 동시에 다음

데이터가 그 주소 번지에 쓰여지기 때문에 시간 지연도 감소시킬 수 있는 방법을 제시하였다. 앞으로의 과제는 본 논문에서 인터리버의 알고리즘의 복잡도를 감소시키기 위해 제안한 새로운 인터리버 알고리즘인 세미 랜덤 인터리버를 터보코드에 적용하여 기존의 블록, 대각, 랜덤 인터리버와 동일한 환경하에서 시뮬레이션을 통해 비트 오류 확률을 비교 및 고찰을 하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Berrou.C, Glavieux.A "Near shannon limit error-coding and decoding:turbo codes". Proc. ICC'93, pp.1064-1070
- [2] F.Adachi, T.Hattori, K.Hirade and T.Kamata "A periodic switching diversity technique for a digital FM land mobile radio." IEEE Trans. Veh. Tech., vt-27,4, pp.211-219 Nov.1978.
- [3] Wang XD, Poor HV "Iterative (Turbo) soft interference cancellation and decoding for coded CDMA" IEEE Trans. on Comm., Vol.47 No.7, pp.1046-1061, 1999
- [4] Alexander PD, Reed MC, Asenstorfer JA, Schlegel CB "Iterative multiuser interference reduction: Turbo CDMA" IEEE Trans. on Comm., Vol.47 No.7, pp.1008-1014, 1999
- [5] Ushirokawa A, Okamura T, Kamiya N, Vucetic B "Principles of Turbo Codes and Their Application to Mobile Communications" IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics Communication & Computer Sciences, Vol.E81-A No.7, 1998
- [6] Kim JY "Performance of OFDM CDMA system with

turbo coding in a multipath fading channel" IEEE Trans. on Consumer Elec., Vol.45 No.2, pp.372-379, 1999

[7] Lee HW, Park CS, Yun YS, Hwang SK "Performace of turbo code in WB-CDMA radio links with estimated channel variance" IEEE Transactions on Comm., Vol.E81-B No.12, pp.2514-2518, 1998

[8] Padam Lal Lafle, Kimmo Makelainen, R. M. A. P. Rajatheva "Performace of Parallel Concatenated Interleaved Codes in Correlated Multipath Fading Cannels in a DS-CDMA System" Proceedings of the 49th Vehicular Technology Conference - Vol. 3, pp.1826-1830, 1999

[9] Hagenauer, J, Robertson, P, and Papke, L "Iterative(turbo) decoding of systematic convolutional codes with the MAP and SOVA" Submitted to ITG 1994 Conf., October 1994,

[10] L.R.Bahl, J.Cocke, F.Jelinek, and J.Raviv "Optimal Decoding of Linear Codes for Minimizing Symbol Error Rate" IEEE Trans. Inform. Theory., vol. IT-20, pp.284-287, Mar. 1974.

[11] J. Hagenauer and P. Hoehner, "A Viterbi algorithm with soft-decision outputs and its applications," in Proc. IEEE GLOBECOM'89, Dallas, Texas, pp.47.1.1-47.1.7, Nov. 1989.

[12] J.K.Parsons, M.Henze, P.A.Ratliff and M.J. Withers "Diversity techniques for mobile radio reception." Radio&Electron. Eng., 45, pp.357-367 July 1975.

[13] Baryer, K., "Error correcting code performance on HF, Troposcatter, and satellite channels" IEEE Trans. commun. technol., vo. COM19, 1971, pp.835-848.

[14] Kohlenberg, A., and Forney, G.D., "Convolutional coding for channels with memory" IEEE Trans. inf. theory vol. IT2, 1968, pp.618-626

[15] Ramsey, J.L., "Realization of optimum interleavers" IEEE Trans. Inf. theory. vol IT16, no3, May 1970 pp.338-345

[16] A. S. Barbulescu and S. S. Pietrobon "Interleaver design for turbo codes" Electronics Letters 8th Dec. 1994 vol.30 No.25

[17] Daneshgaran F, Mondin M "Design of interleavers for turbo codes: Iterative interleaver growth algorithm of polynomial complexity" IEEE Trans. on Information Theory, Vol.45 No.6, pp.1845-1859, 1999

[18] Yuan JH, Vucetic B, Feng W "Combined turbo codes and interleaver Design" IEEE Trans. on Comm., Vol.47 No.4, pp.484-487, 1999

[19] Herzberg H "Multilevel Turbo Coding With Short

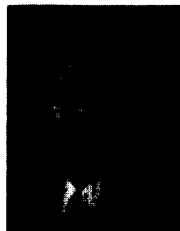
Interleaver" IEEE Journal on Selected Areas in Comm., Vol.16, No.2, 1998

[20] Koorra K, Betzinger H "Interleaver Design for Turbo Codes with Selected Inputs" Electronics Letters, Vol.34, No.7, 1998

[21] Atousa H.S. Mohammadi, Weihua Zhuang "Variance of the Turbo code Performance Bound over the interleaver" Proceedings of the 49th Vehicular Technology Conference Vol.3, pp.2368-2372, 1999

[22] J.Y.Couleaud, "High Gain Coding Schemes for Sapace Communications," ENSICA Final Year Project Report, September 1995.

[23] W.J.Blackert, E.K.Hall and S.G.Wilson "Turbo code termination and interleaver conditions" Electronics Letters 23rd Nov. 1995 Vol.31 No.24



홍성원

e-mail : hongsw@dclab.chongju.ac.kr
 1993년 청주대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1995년 청주대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1998년 청주대학교 대학원 전자공학과(박사과정수료)

1995년~현재 모아통신(주) 부설통신연구소 선임연구원
 1999년~현재 남서울대학교 정보통신공학과 겸임전임강사
 관심분야 : 디지털 이동통신, 부호이론, Spread Spectrum 통신, Multimedia 통신



박진수

e-mail : parkjs@chongju.ac.kr
 1975년 한양대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1977년 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)
 1975년 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학박사)

1987년~1988년 Univ. Colorado at Colorado Spring (Post Doc.)
 1998년~1999년 한국통신학회 충북지부 지부장
 1978년~현재 청주대학교 첨단공학부 교수
 1999년~현재 과학기술부·한국과학재단 지정 정보통신연구센터장
 관심분야 : 디지털 이동통신, 부호이론, Spread Spectrum 통신, Multimedia 통신