

논문 2011-48TC-4-3

채널 부호의 선형성을 이용한 길쌈 인터리버의 파라미터 추정

(Estimation of Convolutional Interleaver Parameters using Linear Characteristics of Channel Codes)

이 주 병*, 정 정 훈*, 김 상 구*, 김 탁 규*, 윤 동 원**

(Jubyung Lee, Jeonghoon Jeong, Sanggoo Kim, Takkyu Kim, and Dongweon Yoon)

요 약

인터리빙은 채널 상에서 발생하는 연집 오류를 랜덤 오류로 변환하기 위하여 채널 부호화된 정보를 일정한 규칙에 의해 심볼 단위로 분산시킨다. 따라서 수신기에서, 송신 시 사용된 인터리버에 대한 파라미터를 알지 못하는 경우, 미지의 인터리빙된 신호를 디인터리빙 하기가 어렵게 된다. 최근 이러한 미지의 인터리빙된 신호에 대해 인터리버의 파라미터를 추정하여 신호를 복원하는 여러 연구가 진행되어 오고 있다. 이러한 연구들은 주로 블록 인터리버의 파라미터를 추정하는 데 초점을 맞추고 있다. 이 논문에서는 기존 연구들을 발전시켜 길쌈 인터리버에 대하여 쉬프트 레지스터 수, 레지스터 크기 및 부호어 길이 등의 인터리버의 파라미터를 추정하고, 목표 디인터리버를 재구성하여 디인터리빙하는 방법을 제안한다.

Abstract

An interleaver rearranges a channel-encoded data in the symbol unit to spread burst errors occurred in channels into random errors. Thus, the interleaving process makes it difficult for a receiver, who does not have information of the interleaver parameters used in the transmitter, to de-interleave an unknown interleaved signal. Recently, various researches on the reconstruction of an unknown interleaved signal have been studied in many places of literature by estimating the interleaver parameters. They, however, have been mainly focused on the estimation of the block interleaver parameters required to reconstruct the de-interleaver. In this paper, as an extension of the previous researches, we estimate the convolutional interleaver parameters, e.g., the number of shift registers, a shift register depth, and a codeword length, required to de-interleave the unknown data stream, and propose the de-interleaving procedure by reconstructing the de-interleaver.

Keywords : convolutional interleaver, parameter estimation, Gaussian elimination, linear block codes, communication theory

I. 서 론

대부분의 디지털 무선 통신 시스템에서는 채널 상에서 발생하는 연집 오류에 대처하기 위하여 채널 부호화

와 함께 인터리빙을 수행한다. 인터리빙은 일정한 규칙을 통해 채널 부호화된 정보를 심볼 단위로 분산시켜 채널 환경에서 발생하는 연집 오류를 채널 복호기에서 처리 가능한 랜덤 비트 오류로 변환하여 통신 시스템의 신뢰성을 향상시킨다^[1]. 또한, 인터리빙의 데이터 분산 과정은 연집 오류 상황에서 통신 성능을 향상시켜줄 뿐만 아니라, 인터리버의 파라미터에 대한 정보가 없는 수신자에게는 특정 패턴에 의한 일종의 암호화 과정으로 보여질 수 있다. 따라서 해당 수신자는 미지의 신호에 대한 정보를 알아내기 위해 송신측 인터리버의 파라미터를 추정하여 디인터리빙을 수행하여야 한다.

* 정회원, 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 (Hanyang university)

** 정회원-교신저자, 한양대학교 융합전자공학부 (Hanyang.university)

※ 본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발 사업(National Space Lab)으로부터 지원받아 수행되었습니다. (2011-0018664)
접수일자: 2010년10월22일, 수정완료일: 2011년4월15일

인터리버의 파라미터 추정 기법은 채널 부호 및 인터리버의 종류에 따라 구분된다. 먼저, 채널 부호는 일반적으로 선형 블록 부호와 길쌈 부호로 분류되는데, 이 논문에서는 선형 블록 부호로 채널 부호화된 경우를 가정한다. 또한, 인터리버는 블록 인터리빙 방식과 길쌈 인터리빙 방식으로 분류할 수 있으며, 블록 인터리빙 방식은 심볼의 분산 과정이 일정한 블록 단위로 수행되어 각 블록 내에서 인터리빙된 스트림은 타 블록의 스트림과 상호 독립적인 관계를 유지하는 반면, 길쌈 인터리빙 방식은 임의의 블록 간에도 상관성이 존재하게 되어, 파라미터를 추정하는 기법 측면에서는 블록 인터리빙 방식과 동일하지 않게 된다. 이 논문에서는 블록 인터리버의 파라미터 추정에 대한 기존 연구를 발전시켜 길쌈 인터리버의 파라미터를 추정하는 기법을 제안한다.

그림 1~3에는 이 논문에서 다루고자 하는 길쌈 인터리버의 특징을 나타내었다. 길쌈 인터리버는 일반적으로 그림 1과 같이 쉬프트 레지스터의 수(B)와 각 레지스터의 크기(M)로 특징지어진다^[1].

그림 1에서와 같이 길쌈 인터리버는 i 번째 쉬프트 레지스터에 따라 입력 스트림의 각 심볼을 $i \times M$ 심볼 거리만큼 지연시켜 출력한다($0 \leq i \leq B-1$). 그림 2

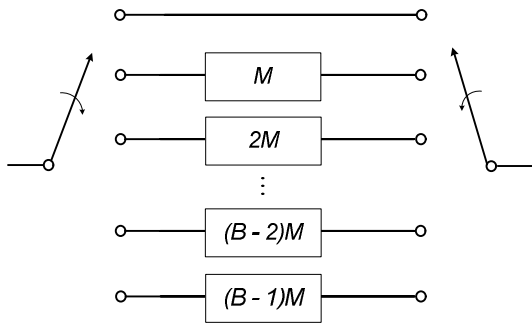


그림 1. 길쌈 인터리버 구조
Fig. 1. Structure of a convolutional interleaver.

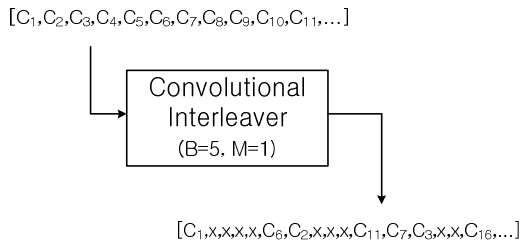


그림 2. 길쌈 인터리버($B=5, M=1$)의 입/출력 스트림
Fig. 2. Input/Output streams of the convolutional interleaver($B=5, M=1$).

C_1	x	x	x	x
C_6	C_2	x	x	x
C_{11}	C_7	C_3	x	x
C_{16}	C_{12}	C_8	C_4	x
C_{21}	C_{17}	C_{13}	C_9	C_5
C_{26}	C_{22}	C_{18}	C_{14}	C_{10}
C_{31}	C_{27}	C_{23}	C_{19}	C_{15}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

그림 3. 길쌈 인터리버($B=5, M=1$)의 매트릭스 표현
Fig. 3. Matrix representation of the convolutional interleaver($B=5, M=1$).

에는 한 예로 쉬프트 레지스터의 수(B)가 5이고, 레지스터의 크기(M)가 1인 길쌈 인터리버의 입/출력 스트림을 나타내었다.

여기서 x는 각 레지스터의 임의의 초기값을 나타낸다. 그림 2에서와 같이 길쌈 인터리버($B=5, M=1$)의 입력 스트림인 채널 부호화된 정보는 인터리빙 과정을 통해 인접 심볼 간의 거리가 5개의 심볼만큼 떨어져, 인접 심볼 간의 선형적 특성이 없어지며, 그림 3과 같이 매트릭스로 구성하여 나타낼 수 있다.

그림 3에서와 같이 인터리빙된 스트림을 열의 크기가 $B=5$ 인 매트릭스로 나타내었을 때 레지스터의 초기값(x)은 매트릭스 내의 행에 따라 4, 3, 2, 1개의 형태로 정렬되며, 여기서 레지스터의 크기(M)가 2인 경우에는 4, 4, 3, 3, ... 형태로 M 번 반복되어 나타난다. 이로부터 길쌈 인터리버의 파라미터인 쉬프트 레지스터의 수(B)와 레지스터의 크기(M)는 각각 매트릭스의 열의 크기 및 레지스터 초기값(x)의 분포와 관계됨을 알 수 있다.

위 예의 결과와 같이 인터리빙 과정은 채널 부호화된 정보 내에서 심볼의 순서만을 바꾸어 출력하므로 인터리버의 입력 스트림에 대해 추가적인 특성을 발생시키지 않는다. 또한 채널 부호화 과정 이후에 인터리빙이 수행되더라도 채널 부호의 선형성은 유지되므로, 파라미터의 추정은 인터리빙에 앞서 수행되는 채널 부호화의 선형성을 이용할 수 있다. 이를 바탕으로 하여 이 논문에서는 미지의 정보가 선형 블록 부호화되고 길쌈 인터리빙 되었을 때, 길쌈 인터리버의 파라미터를 추정하고 이를 디인터리빙하여 인터리빙 이전의 신호인 선형 블록 부호화된 정보로 복원하는 방법을 제안한다. 여기서 길쌈 인터리버의 파라미터는 채널 부호화 과정에서

발생한 중복비트(redundant bits)의 선형성을 이용하여 추정한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 파라미터의 추정 및 길쌈 인터리버의 블라인드 디인터리빙 기법을 제안하고, III장에서는 모의 실험 결과를 분석하며, IV장에서 결론을 맺는다.

II. 인터리빙 주기 추정 및 블라인드 길쌈 디인터리빙

1. 인터리빙 주기 추정

인터리빙 주기는 인터리빙된 스트림의 특성으로써 블록 인터리버의 경우, 인터리빙이 반복되는 한 블록의 크기를 의미하며, 일반적으로 블록의 크기는 송·수신단 하드웨어의 복잡성을 줄이기 위하여 일반적으로 채널 부호어의 정수배로 구현된다^[3]. 최근 블록 인터리버의 인터리빙 주기 추정과 관련된 기존 연구들을 살펴보면, 블록 인터리빙된 스트림을 임의의 추정치로 나누어

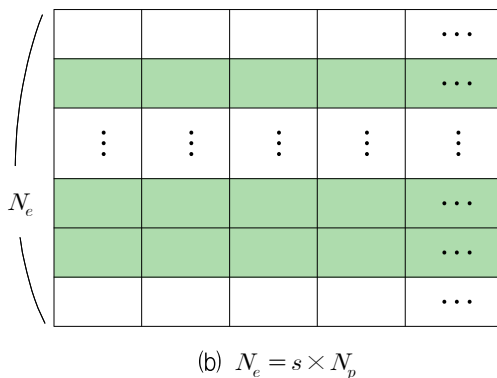
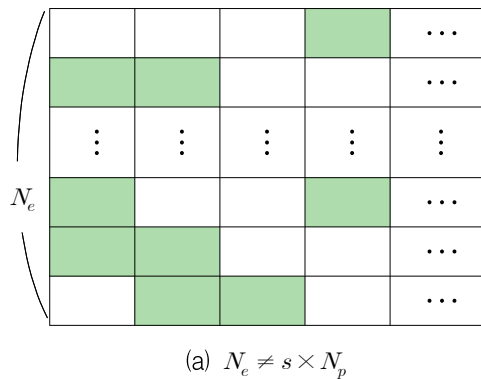


그림 4. 인터리빙 주기의 추정치(N_e)에 따른 매트릭스 내 중복비트의 분포

Fig. 4. Distribution of redundant bits in the matrix for estimated interleaving periods(N_e).

매트릭스를 구성할 때, 채널 부호화된 정보 내의 중복비트가 정렬되어 행간 선형성이 나타나는 블록의 크기를 송신측의 인터리빙 주기로 추정하고 있다^[3~6]. 이때, 매트릭스 내에서 나타나는 행간 선형성을 구분하기 위하여 [3]에서는 매트릭스의 행계수(row rank)를 이용하였고, [4~6]에서는 채널상의 잡음 환경을 고려하여 가우시안 소거 연산을 이용하였다. 특히, [6]에서는 추정된 인터리빙 주기를 이용하여 블록 인터리버의 한 종류인 헬리컬 스캔 인터리버의 파라미터도 추정하였다. 이와 같이 기존 연구들에서는 블록 인터리버의 파라미터를 추정하는데 반해, 이 논문에서는 길쌈 인터리버로 확대 적용하여, 인터리빙 주기가 블록 인터리버의 경우와 다르게 나타나는 특징을 분석하여 디인터리빙 하는데 필요한 파라미터를 추정한다.

그림 4에는 기존 [3~6]에서의 인터리빙 주기의 추정 방식을 이용하여 인터리빙 주기의 추정치(N_e)에 따른 매트릭스 내에서의 중복비트의 분포를 나타내었다.

여기서 N_e 는 인터리빙 주기의 추정치, N_p 는 목표 인터리빙 주기를 나타내며, s 는 1, 2, 3, ... 인 정수, 그리고 음영부분은 중복비트를 나타낸다. 그림 4의 (a)와 같이 $N_e \neq s \times N_p$ 인 경우, 매트릭스 내에서 중복비트가 정렬되지 않으나, (b)와 같이 $N_e = s \times N_p$ 인 경우에는 중복비트가 동일한 행으로 정렬되며, 이로부터 매트릭스 내에서 나타나는 행간 선형성은 식 (1)을 통해 확인할 수 있다^[4].

$$\lim_{M_c \rightarrow \infty} \min \{ \phi(k) \} \rightarrow 0, \text{ for } N_e = s \times N_p \quad (1)$$

식 (1)에서 M_c 는 매트릭스의 열의 크기, $\phi(k)$ 는 구성된 매트릭스를 가우시안 소거 연산 하였을 때, k 번째 행, $N_e + 1$ 부터 M_c 번째 열 내에서의 0에 대한 1의 비율을 나타낸다. 그림 4의 (b)와 같이 매트릭스 내에서 중복비트가 정렬되면 가우시안 소거 연산에 의해 중복비트 행의 $\phi(k)$ 값이 0으로 수렴하여 인터리빙 주기를 추정할 수 있게 된다. 이 논문에서는 기존의 가우시안 소거 연산을 이용하여 매트릭스의 행간 선형성을 구분하는 [4]의 방식을 발전시켜 길쌈 인터리버의 파라미터를 추정하고, 디인터리빙하는 방법을 제안한다.

2. 길쌈 인터리버의 파라미터 추정 및 디인터리빙 길쌈 인터리빙된 스트림의 분석은 식 (1)에 따라 추

정된 인터리빙 주기를 통해 인터리버의 파라미터를 도출하고, 이를 이용하여 디인터리빙 한다. 먼저, 인터리빙 주기가 인터리버 크기의 정수배로 나타나는 블록 인터리버의 경우와는 달리, 길쌈 인터리버의 인터리빙 주기는 인터리버의 파라미터인 쉬프트 레지스터의 수, 레지스터의 크기, 채널 부호어의 길이 및 인터리빙 주기의 이전 값에 따라 다음과 같이 식 (2) 및 (3)으로 나타낼 수 있다.

$$N_{prd}^{1st} = B \times l \times M \quad (2)$$

$$N_{prd}^{2nd} = N_{prd}^{1st} + B \times l \quad (3)$$

식 (2)와 (3)에서 N_{prd}^{1st} 은 매트릭스 내에서 처음으로 행간 선형성이 나타나는 인터리빙 주기의 제 1추정치, N_{prd}^{2nd} 은 그 다음으로 선형성이 나타나는 제 2추정치를 나타내고, B 는 길쌈 인터리버의 쉬프트 레지스터의 수, M 은 레지스터의 크기, l 은 채널 부호어의 길이를 나타낸다. 길쌈 인터리빙된 스트림에서 입력 스트림의 인접 심볼 간의 거리는 쉬프트 레지스터의 수(B)와 레지스터 크기(M)의 곱인 $B \times M$ 으로 나타난다. 또한, 쉬프트 레지스터의 수(B)와 부호어 길이(l)의 곱인 $B \times l$ 마다 각 부호어에서 동일한 위치에 해당하는 심볼이 나타나는 특징이 있다. 따라서 길쌈 인터리빙된 스트림 내에서 첫 번째 부호어의 모든 심볼을 하나의 블록으로 포함하고, 이 블록의 크기로 구성된 매트릭스 내에서 각 부호어의 중복비트를 동일한 행으로 정렬하기 위한 블록의 크기는 $B \times l \times M$ 이 되며, 이로부터 인터리빙 주기의 제 1추정치(N_{prd}^{1st})는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 그 다음으로 행간 선형성이 나타나는 인터리빙 주기(N_{prd}^{2nd})는 N_{prd}^{1st} 블록에 의해 분할되어 있던 동일 부호어 내의 심볼들이 동일 블록으로 포함되고, $B \times l$ 마다 각 부호어에서의 동일한 위치의 심볼이 반복되는 길쌈 인터리버의 특성에 따라 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다. 식 (2), (3)을 다시 쓰면 길쌈 인터리버의 파라미터인 쉬프트 레지스터의 수(B)와 레지스터의 크기(M), 채널 부호어의 길이(l)는 식 (4), (5)로 나타낼 수 있다.

$$N_{prd}^{2nd} - N_{prd}^{1st} = B \times l \quad (4)$$

$$M = N_{prd}^{1st} / (N_{prd}^{2nd} - N_{prd}^{1st}) \quad (5)$$



그림 5. 블라인드 길쌈 디인터리빙의 흐름도
Fig. 5. Flow chart of blind convolutional deinterleaving.

식 (4)에서와 같이 쉬프트 레지스터의 수(B)와 부호어의 길이(l)는 1보다 큰 정수이기 때문에 인터리빙 주기의 제 1, 2추정치의 차인 $N_{prd}^{2nd} - N_{prd}^{1st}$ 의 약수로 제한되며, 레지스터의 크기(M)는 추정된 인터리빙 주기를 이용하여 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다. 그림 5에는 위 식을 통해 파라미터를 추정하여 디인터리빙하는 블라인드 길쌈 디인터리빙의 전체적인 흐름도를 나타내었다.

그림 5에서와 같이 블라인드 길쌈 디인터리빙의 과정은 다음과 같다. 먼저, 인터리빙된 스트림의 특성인 인터리빙 주기를 추정한다. 여기서 추정된 인터리빙 주기를 이용하여 쉬프트 레지스터의 수(B) 및 레지스터의 크기(M)를 제한시킬 수 있으며, 이로부터 구성된 디인터리버 매트릭스를 레지스터의 크기(M)에 따라 길쌈 디인터리빙 한다. 이렇게 디인터리빙된 각 스트림을 추정된 부호어의 길이(l)로 매트릭스를 구성하였을 때, 매트릭스 내에서의 행간 선형성을 판별하여 추정된 파라미터에 대한 검증을 수행한다.

식 (6), (7)에는 그림 5에서 제한한 길쌈 디인터리빙

의 일반화에 대한 예로 (3,2)선형 블록 부호화 과정을 나타내었으며, 이를 통해 길쌈 디인터리빙 과정을 살펴본다.

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

식 (6)에는 (3,2)선형 블록 부호의 생성행렬(G)을 나타내었으며, 이를 이용하여 식 (7)에는 (3,2)선형 블록 부호화 과정을 나타내었다.

$$\begin{bmatrix} C_{3i+1} \\ C_{3i+2} \\ C_{3i+3} \end{bmatrix} = G \times \begin{bmatrix} m_{2i+1} \\ m_{2i+2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서 m 은 송신측에서 전달하고자 하는 메시지 정보를 의미하며, C 는 생성행렬(G)에 의해 채널 부호화된 정보를 나타낸다. 식 (7)에서와 같이 채널 부호화 과정을 통해 각 부호어의 세 번째 심볼인 C_{3i+3} 는 동일한 부호어 내의 심볼인 C_{3i+1} , C_{3i+2} 의 선형조합으로 나타나는 특징을 알 수 있다.

그림 6에는 입력 스트림이 (3,2)선형 블록 부호이고, 쉬프트 레지스터의 수(B)가 4, 레지스터의 크기(M)가 2인 길쌈 인터리버로 인터리빙된 스트림을 열의 크기가 4인 매트릭스로 나타내었다.

그림 6에서와 같이 매트릭스의 열의 크기가 $B=4$ 일 때, 행에 따라 레지스터의 초기값(x)이 3, 3, 2, 2, 1, 1개로 정렬되며, 이로부터 길쌈 인터리빙된 스트림, S_i , 은 매트릭스의 왼쪽에서 오른쪽, 위에서 아래 방향인 식 (8)과 같이 나타내어진다.

C_1	x	x	x
C_5	x	x	x
C_9	C_2	x	x
C_{13}	C_6	x	x
C_{17}	C_{10}	C_3	x
C_{21}	C_{14}	C_7	x
C_{25}	C_{18}	C_{11}	C_4
C_{29}	C_{22}	C_{15}	C_8
C_{33}	C_{26}	C_{19}	C_{12}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

그림 6. 길쌈 인터리버의 매트릭스 표현 ($B=4, M=2$)

Fig. 6. Matrix representation of the convolutional interleaver($B=4, M=2$).

$$S_i = [C_1, *, *, *, C_5, *, *, *, C_9, C_2, *, \dots] \quad (8)$$

식 (8)에서와 같이 인터리빙된 스트림에 대하여 수신기에서 인터리버의 파라미터에 대한 정보가 없는 경우, 인터리빙 주기를 추정하기 위해 N_e 를 1부터 증가시키며 매트릭스를 구성하여 중복비트가 동일한 행으로 정렬되게 하는 N_e 값을 추정한다. 그림 7에는 N_e 를 1부터 증가시키며 매트릭스로 구성하였을 때, 매트릭스 내에서 중복비트가 동일한 행으로 정렬되어 행간 선형성이 나타나는

(a) $N_e = 24$

(b) $N_e = 36$

그림 7. 인터리빙 주기 추정치(N_e)에 따른 매트릭스 내 중복비트의 분포 ($N_e=24, 36$)

Fig. 7. Distribution of redundant bits in the matrices for estimated interleaving periods($N_e=24, 36$).

처음($N_e=24$)과 두 번째($N_e=36$) 경우를 정리하여 나타내었다.

그림 7에서와 같이 N_e 가 24, 36일 때, 매트릭스 내에서 중복비트가 동일한 행으로 정렬하게 되어 행간 선형성이 나타나며, 이로부터 인터리빙 주기의 제 1, 2 추정치($N_{prd}^{1st}, N_{prd}^{2nd}$)는 각각 24, 36 임을 알 수 있다. 그림 7에서와 같이 추정된 $N_{prd}^{1st}, N_{prd}^{2nd}$ 를 이용하여 그림 8의 (a)~(d)에는 식 (4)에 의해 12의 약수(2, 3, 4, 6)로 제한된 쉬프트 레지스터의 수(B)에 따라 발생 가능한

C_1	x
x	x
C_5	x
x	x
C_9	C_2
\vdots	\vdots

(a) $B = 2$

C_1	x	x
x	C_5	x
x	x	C_9
C_2	x	x
C_{13}	C_6	x
\vdots	\vdots	\vdots

(b) $B = 3$

C_1	x	x	x
C_5	x	x	x
C_9	C_2	x	x
C_{13}	C_6	x	x
C_{17}	C_{10}	C_3	x
C_{21}	C_{14}	C_7	x
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

(c) $B = 4$

C_1	x	x	x	C_5	x
x	x	C_9	C_2	x	x
C_{13}	C_6	x	x	C_{17}	C_{10}
C_3	x	C_{21}	C_{14}	C_7	x
C_{25}	C_{18}	C_{11}	C_4	C_{29}	C_{22}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

(d) $B = 6$

그림 8. 쉬프트 레지스터의 수(B)에 따른 디인터리버의 표현

Fig. 8. Representation of deinterleavers for the number of shift registers(B).

디인터리버 매트릭스를 나타내었다.

그림 8의 (a)~(d)와 같이 디인터리버 매트릭스는 12의 약수(2, 3, 4, 6)로 제한된 쉬프트 레지스터의 수(B)에 따라 구성되며, (c)와 같이 목표 디인터리버로 재구성된 경우에 대해서만, 레지스터의 초기값(x)이 정렬됨을 알 수 있다. 여기서, 구성된 각 디인터리버는 식 (5)에 의해 도출된 레지스터의 크기(M), 2에 따라 매트릭스 내의 심볼을 재배열하여 디인터리빙 하며, 그림 9, 10에서는 그림 8의 (a)~(d) 중 목표 디인터리버인 (c) 경우에 대한 디인터리빙 과정을 살펴본다. 먼저, 그림 9에서는 그림 8의 (c) 경우에 대해 레지스터의 크기(M)에 따라 심볼을 재배열하였다.

그림 9에서와 같이 심볼이 위치하고 있는 열을 c 라고 했을 때, 매트릭스내의 심볼은 레지스터의 크기(M)와 열에 따라 $M \times (c - 1)$ 만큼 위로 이동하여 재배열되며, 이를 디인터리빙하면 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_d = [C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}, \dots] \quad (9)$$

식 (9)에서와 같이 디인터리빙된 스트림에 대하여 추정된 인터리버의 파라미터에 의한 디인터리빙 과정을 검증하기 위해 그림 10에는 식 (4)에 의해 추정된 부호어의 길이(l)에 따른 중복비트의 분포를 나타내었다.

그림 10에서와 같이 디인터리빙된 스트림 내의 중복비트는 부호어의 길이(l)에 따라 동일한 위치에 분포하

C_1	C_2	C_3	C_4
C_5	C_6	C_7	C_8
C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}
C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}
C_{17}	C_{18}	C_{19}	C_{20}
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

그림 9. 매트릭스 내 심볼의 재배열($B=4, M=2$)

Fig. 9. Rearrangement of the symbols in the matrix ($B=4, M=2$).

C_1	C_4	C_7	C_{10}	\dots
C_2	C_5	C_8	C_{11}	\dots
C_3	C_6	C_9	C_{12}	\dots

그림 10. 부호어의 길이(l)에 따른 중복비트의 분포

Fig. 10. Distribution of redundant bits for a codeword length(l).

게 되어 매트릭스 내에서 행간 선형성이 나타나게 된다. 그러나 지면상 여기서 나타내지는 않았지만, 그림 8의 (a), (b), (d) 경우에 대해서는 불규칙하게 분포하는 중복비트로 인해 선형성이 나타나지 않게 된다. 식 (9)와 같이 목표 디인터리버에 의해 디인터리빙된 스트림은 채널 부호화된 정보와 동일한 부호어의 길이(l)에 따라 심볼 간 선형성이 나타나며, 이로부터 디인터리빙된 스트림은 인터리버의 입력 스트림인 채널 부호화된 정보로 복원됨을 알 수 있다.

III. 모의 실험 결과

이 장에서는 길쌈 인터리버의 파라미터 추정 및 이를 통해 디인터리빙된 스트림의 검증에 대한 모의 실험 결과를 나타내었다. 먼저, 그림 11에는 인터리버의 입력 스트림이 (7,4)해밍 부호이고, 쉬프트 레지스터의 수(B)가 8, 레지스터의 크기(M)가 2인 길쌈 인터리버의 출력 스트림에서 인터리빙 주기의 추정 결과를 나타내었다.

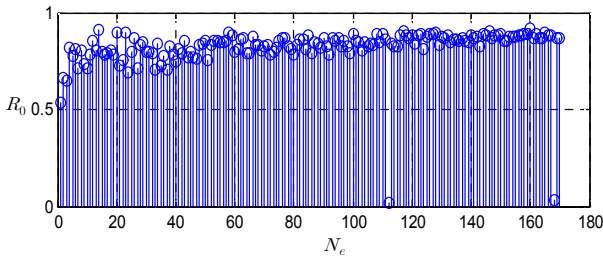


그림 11. 인터리빙 주기의 추정치(N_e)에 따른 $\phi(k)$ 의 최소값

Fig. 11. Minimum of $\phi(k)$ for estimated interleaving periods(N_e).

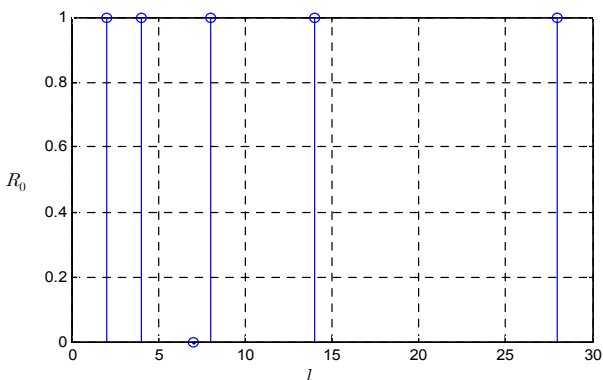


그림 12. 추정된 부호어의 길이(l)에 따른 디인터리빙된 스트림의 검증

Fig. 12. Verification of the deinterleaved streams for estimated codeword lengths(l).

그림 11에서 R_0 는 인터리빙 주기의 추정치(N_e)에 따른 $\phi(k)$ 의 최소값을 나타낸다. 그림 11에서와 같이 N_e 가 112, 168일 때, 중복비트 행이 정렬하게 되어 R_0 가 0으로 수렴하며, 이로부터 N_{prd}^{1st} , N_{prd}^{2nd} 는 각각 112, 168임을 알 수 있다. 여기서 추정된 인터리빙 주기를 이용하여 식 (4), (5)에 따라 레지스터의 크기(M)는 2, 쉬프트 레지스터의 수(B)와 부호어의 길이(l)는 56의 약수(2, 4, 7, 8, 14, 28)로 제한시킬 수 있으며, 이를 바탕으로 그림 12에는 디인터리빙된 각 스트림을 식 (4)에 의해 추정된 부호어의 길이(l)에 따라 매트릭스로 구성하였을 때의 R_0 값을 나타내었다.

그림 12에서와 같이 $B=8$, $M=2$ 로 디인터리빙된 경우, 추정된 부호어의 길이(l)인 7에서 R_0 값이 0으로 수렴하며, 이로부터 중복비트가 정렬됨을 확인할 수 있다. 따라서 디인터리빙된 스트림, 즉 채널 부호화된 정보 내 중복비트의 선형성을 이용하여 모의 실험에서 인터리버의 입력 스트림인 (7,4)해밍 부호로의 복원이 가능함을 알 수 있다.

IV. 결 론

이 논문에서는 미지의 통신 시스템에 의해 구성된 신호의 복원 과정 중 길쌈 인터리버의 파라미터를 추정하여 인터리빙을 수행하기 이전의 채널 부호화된 정보로 복원하는 기법을 제안하였다. 기존 연구들에서 진행된 블록 인터리버의 파라미터 추정 기법을 발전시켜, 길쌈 인터리버의 파라미터인 쉬프트 레지스터 수와 레지스터 크기, 부호어 길이를 추정하여, 길쌈 디인터리버를 재구성하였으며, 모의 실험을 통하여 인터리빙 이전의 원신호로의 복원이 가능함을 확인하였다. 이 논문에서 제안하는 길쌈 인터리버의 파라미터 추정 기법은 선형 블록 부호로 채널 부호화되었을 때, 미지의 인터리빙된 신호를 디인터리빙 하는데 있어서의 기본 이론을 제공하며, 향후, 길쌈 부호로 채널 부호화된 경우에 대해서도 길쌈 부호의 판별을 이용하여 블록 인터리빙 및 길쌈 인터리빙된 신호의 디인터리빙에 대한 연구에 적용 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의

우주기초원천기술개발 사업(National Space Lab)으로부터 지원받아 수행되었습니다. (2011-0018664)

참 고 문 헌

- [1] B. Sklar, *Digital Communications: Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall International Inc., 2001.
- [2] G. Strang, *Linear Algebra and Its Applications*, Thomson Learning Inc., 1988.
- [3] G. Burel and R. Gautier, "Blind estimation of encoder and interleaver characteristics in a non cooperative context," *IASTED International Conference on Communications, Internet and Information Technology*, pp. 275 - 280, AZ, USA, Nov. 2003.
- [4] G. Sicot and S. Houcke, "Blind detection of interleaver parameters," *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol. 3, pp. 829 - 832, PA, USA, Mar. 2005.
- [5] Liru Lu, Kwok Hung Li and Yong Liang Guan, "Blind Detection of Interleaver Parameters for Non-Binary Coded Data Streams," *IEEE International Conference on Communications*, pp. 1-4, Dresden, Germany, Jun. 2009.
- [6] 이주병, 정정훈, 윤동원, 윤상범, 박영미, 나선필, "헬리컬 스캔 인터리버 파라미터의 블라인드 추정 및 복원," *국방과학연구소 종합학술대회*, pp. 360-362, 국방과학연구소, 2010년 8월

저 자 소 개



이 주 병(정회원)
 2009년 한양대학교 미디어통신
 공학과 학사 졸업
 2011년 한양대학교 전자통신
 컴퓨터공학과 석사 졸업
 2011년~현재 삼성전자 무선
 사업부

<주관심분야 : Blind estimation of digital signal,
 Digital Communication Theory>



정 정 훈(정회원)
 1999년 한양대학교 전자통신
 컴퓨터공학과 학사 졸업.
 2001년 한양대학교 전자통신
 컴퓨터공학과 석사 졸업.
 2001년~2007년 LG전자 디지털
 미디어연구소 선임연구원.

2007년~현재 한양대학교 전자통신공학과 박사
 과정
 <주관심분야 : Digital Communication Theory,
 PN ranging>



김 상 구(정회원)
 2007년 한국외국어대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 2009년 한양대학교 전자컴퓨터
 통신공학과 석사 졸업.
 2009년~현재 한양대학교 전자통
 신컴퓨터공학과 박사과정.

<주관심분야 : Mobile and Wireless Communi-
 cations, Satellite and Space Communications>



김 탁 규(정회원)
 2009년 한양대학교 전자통신
 컴퓨터공학과 학사 졸업.
 2009년~현재 한양대학교 전자
 통신컴퓨터공학과 석사
 과정.

<주관심분야 : Digital Communication Theory,
 Blind descrambling>



윤 동 원(평생회원)-교신저자
 1989년 한양대학교 전자통신
 공학과 학사 졸업.
 1992년 한양대학교 전자통신
 공학과 석사 졸업.
 1995년 한양대학교 전자통신
 공학과 박사 졸업.

1995년 3월~1997년 8월 동서대학교 정보통신
 공학과 전임강사.
 1997년 2월~1997년 12월 한국전자통신연구소
 초빙연구원.
 1997년 9월~2004년 2월 대전대학교 정보통신
 공학과 부교수.
 2002년 11월~2005년 12월 한국전자통신연구원
 초빙연구원.
 2004년 3월~현재 한양대학교 융합전자공학부
 교수.
 <주관심분야 : 통신이론, 무선 및 이동통신, 위성
 및 우주통신>