



# 3GPP LTE 터보 부호 인터리버의 분석

2011년 한국통신학회 추계학술대회

송민규, 전석민, 박진수, 송홍엽  
연세대학교



# 1. 서론



- 터보 부호
  - Shannon limit에 근접하는 오류 정정 능력 있음
  - 컴포넌트 코드와 인터리버에 의해 성능이 결정됨
- 3GPP(3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project) LTE(Long Term Evolution)
  - 터보 부호를 오류 정정 표준으로 채택함(3GPP TS 25.212-v9.3.0)
  - 고유의 터보 부호 인터리버 사용
    - ARP(Almost Regular Permutation), QPP(Quadratic Permutation Polynomial) 등의 인터리버와 달리 이론적 근거가 부족함



## 2. 3GPP LTE 터보 부호 인터리버

- 인터리빙 알고리즘 -



- 입력 수열을 행렬 형태로 변환

bit sequence → rectangular matrix

$$x_1, x_2, \dots, x_K \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & \dots & y_C \\ y_{(C+1)} & y_{(C+2)} & \dots & y_{2C} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_{(R-1)C+1} & y_{(R-1)C+2} & \dots & y_{RC} \end{bmatrix}$$

where  $y_k = x_k$  for  $k = 1, 2, \dots, K$

- 행 내부 치환
  - Primitive root를 이용한 치환
    - $\alpha^i \neq \alpha^j$  where  $i \neq j \pmod{p}$
  - 각 행을 다르게 치환하기 위해 'p-1'과 서로소인 소수들을 사용
  - $K = R \times C$  인 경우, (★) 과정을 수행함
- 행간 치환
  - 정해진 행간 치환 패턴에 따라 수행

### 행 내부 치환 알고리즘

1. 행렬의 파라미터 C와 관계된 소수 p의 가장 작은 원시근(primitive root) v를 구한다.
2. 행 내부 치환에 사용할 기본수열  $\langle s(i) \rangle$ 을 다음과 같이 만든다.
 
$$s(j) = (v \times s(j-1)) \pmod{p}, \text{ and } s(0) = 1$$
3. 다음의 조건을 만족하는 수열  $\langle q(i) \rangle$ 를 만든다.
 
$$\text{GCD}(q(i), p-1) = 1, q(i) > 6, \text{ and } q(i) > q(i-1)$$
 (for  $i = 0, \dots, R-1$ )
4. 수열  $\langle q(i) \rangle$ 를 '행간 치환' 패턴으로 치환하여 수열  $\langle r(i) \rangle$ 을 만든다.
5. 다음과 같이 행 내부 치환을 수행한다.

if  $C = p$  then

$$U_i(j) = s((j \times r(i)) \pmod{p-1}) \text{ (for } j = 0, \dots, p-2),$$

$$\text{and } U_i(p-1) = 0$$

else if  $C = p + 1$  then

$$U_i(j) = s((j \times r(i)) \pmod{p-1}) \text{ (for } j = 0, \dots, p-2),$$

$$U_i(p-1) = 0, \text{ and } U_i(p) = p$$

if  $K = R \times C$

$$\text{Exchange } \underline{U_{R-1}(p)} \text{ with } U_{R-1}(0) \quad - (\star)$$

end if

Why?

else if  $C = p - 1$  then

$$U_i(j) = s((j \times r(i)) \pmod{p-1}) - 1$$

end if

(i와 j는 각각 행간, 행 내 인덱스를 의미한다.)



## 2. 3GPP LTE 터보 부호 인터리버

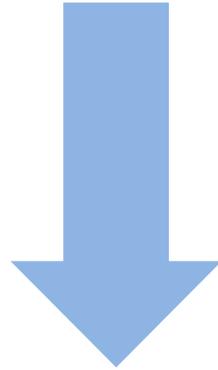
- 인터리빙의 예 -



- 길이 40(=K)의 입력 수열

- 입력 수열

1100100010100101000011010111010000010001



bit sequence → rectangular matrix

$$x_1, x_2, \dots, x_K \rightarrow \begin{bmatrix} y_1 & y_2 & \dots & y_C \\ y_{(C+1)} & y_{(C+2)} & \dots & y_{2C} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_{(R-1)C+1} & y_{(R-1)C+2} & \dots & y_{RC} \end{bmatrix}$$

where  $y_k = x_k$  for  $k = 1, 2, \dots, K$

- 행렬 형태 변환

→ write

1	1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	1	1	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1

R (Rows) : 5  
 C (columns) : 8 (7 + 1)  
 Primitive root : 3

Prime





## 2. 3GPP LTE 터보 부호 인터리버

- 인터리빙의 예 -



- 행 내부 치환

- 기본 치환 수열 생성

$$(\alpha^0, \alpha^1, \alpha^2, \alpha^3, \alpha^4, \alpha^5) = (1, 3, 2, 6, 4, 5)$$

where  $\alpha$  is primitive root

- 수열  $\langle q \rangle$  생성

$$\langle q \rangle = (1, 7, 11, 13, 17)$$

- 수열  $\langle r \rangle$  생성

$$\langle r \rangle = (17, 13, 11, 7, 1)$$

2. 행 내부 치환에 사용할 기본수열  $\langle s(i) \rangle$ 을 다음과 같이 만든다.

$$s(j) = (v \times s(j-1)) \bmod p, \text{ and } s(0) = 1$$

3. 다음의 조건을 만족하는 수열  $\langle q(i) \rangle$ 를 만든다.

$$\text{GCD}(q(i), p-1) = 1, q(i) > 6, \text{ and } q(i) > q(i-1)$$

(for  $i = 0, \dots, R-1$ )

4. 수열  $\langle q(i) \rangle$ 를 '행간 치환' 패턴으로 치환하여 수열  $\langle r(i) \rangle$ 을 만든다.



## 2. 3GPP LTE 터보 부호 인터리버

- 인터리빙의 예 -



- 행 내부 치환 패턴

$17 = 5 \pmod 6$	1	5	4	6	2	3	0	7
$13 = 1 \pmod 6$	1	3	2	6	4	5	0	7
$11 = 5 \pmod 6$	1	5	4	6	2	3	0	7
$7 = 1 \pmod 6$	1	3	2	6	4	5	0	7
$1 = 1 \pmod 6$	1	3	2	6	4	5	0	7

if  $a \neq b \pmod n$  and  $\gcd(a, n) = \gcd(b, n) = 1$ ,  
then  $a \times x \neq b \times x$  where  $x \in \{1, \dots, n\}$

5. 다음과 같이 행 내부 치환을 수행한다.

if  $C = p$  then

$$\underline{U_i(j) = s((j \times r(i)) \pmod{(p-1))} \text{ (for } j=0, \dots, p-2),$$

$$\underline{\text{and } U_i(p-1) = 0}$$

else if  $C = p + 1$  then

$$\underline{U_i(j) = s((j \times r(i)) \pmod{(p-1))} \text{ (for } j=0, \dots, p-2),$$

$$U_i(p-1) = 0, \text{ and } U_i(p) = p$$

if  $K = R \times C$

Exchange  $U_{R-1}(p)$  with  $U_{R-1}(0)$  - (\*)

end if

else if  $C = p - 1$  then

$$\underline{U_i(j) = s((j \times r(i)) \pmod{(p-1)}) - 1}$$

end if

(i와 j는 각각 행간, 행 내 인덱스를 의미한다.)



## 2. 3GPP LTE 터보 부호 인터리버

- 인터리빙의 예 -



- 행 내부 치환(cont')
  - 행 내부 치환 패턴

1	1	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	1	1	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	0	1



1	5	4	6	2	3	0	7
1	3	2	6	4	5	0	7
1	5	4	6	2	3	0	7
1	3	2	6	4	5	0	7
1	3	2	6	4	5	0	7



## 2. 3GPP LTE 터보 부호 인터리버

- 인터리빙의 예 -

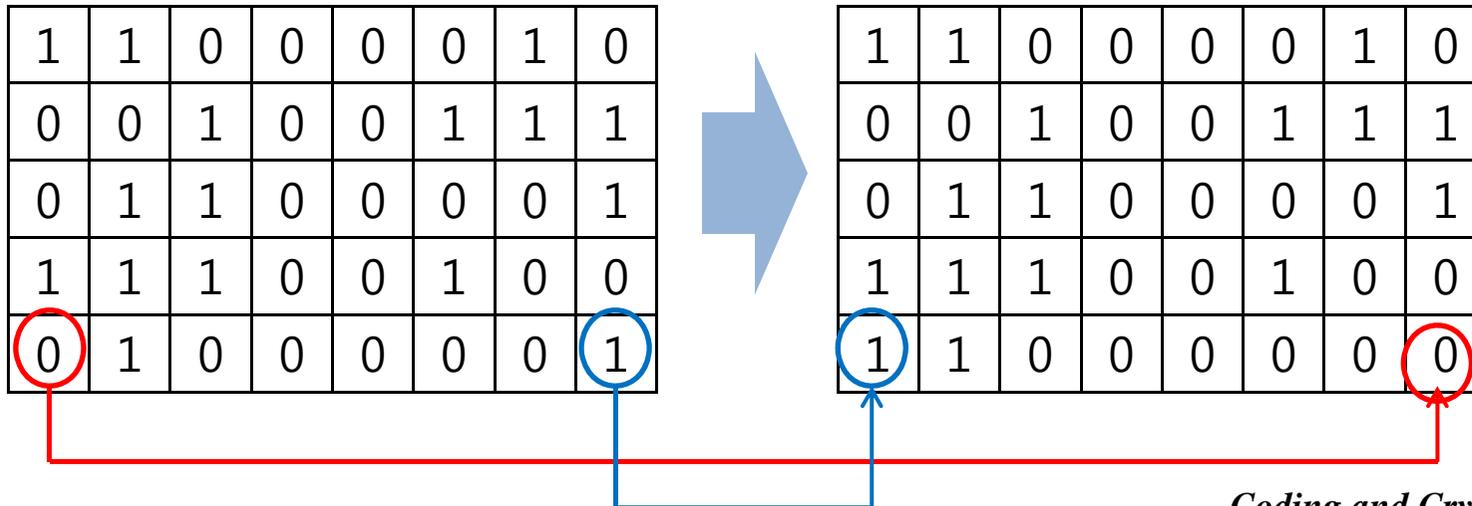


- 행 내부 치환(cont')
  - 행 내부 치환 패턴

1	1	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	1	1
0	1	1	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	1

- (★) 실행

if  $K=R \times C$   
Exchange  $U_{R-1}(p)$  with  $U_{R-1}(0)$  - (\*)





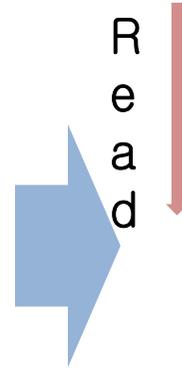
## 2. 3GPP LTE 터보 부호 인터리버

- 인터리빙의 예 -



- 행간 치환

1	1	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	1	1
0	1	1	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0



1	1	0	0	0	0	0	1
1	1	1	0	0	1	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	1	1	1
1	1	0	0	0	0	1	0

치환 패턴 : { 4, 3, 2, 1, 0 }

- 출력 수열

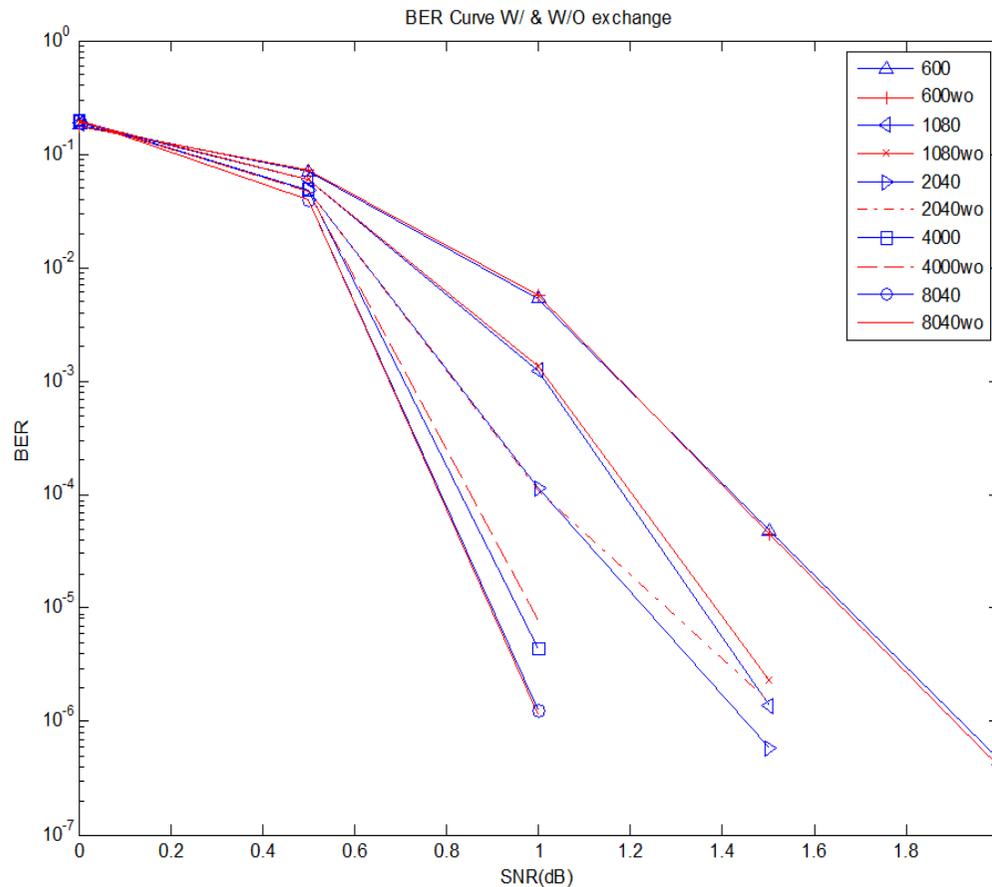
110011110101110000000000010100001110110



### 3. (★)의 유무에 따른 BER 성능



- (★) 실행 조건
  - $K = R \times C$  and  $C = p + 1$  where  $p$  is prime
- (★)의 유무에 따른 BER 성능 곡선







## 4. 결 론



- 입력 수열 패턴에 대해 3GPP 터보 부호 인터리버 분석
  - 효과적인 low weight codeword 입력 패턴 제거
  - (★) 과정의 의미
    - 성능 향상에 대한 영향이 작음