

# 해상환경에서 선박내 무선 이동 멀티캐스트/멀티미디어 전송을 위한 쇄상부호의 내부호 구조 성능비교 연구

이 예 훈\*, 이 성 로<sup>o</sup>

## Performance Comparisons of Two Inner Coding Structures in Concatenated Codes for Wireless Multimedia / Multicast Transmission on Shipboard

Ye Hoon Lee\*, Seong Ro Lee<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문은 해상환경에서 느린 주파수도약 대역확산 통신을 이용하여 멀티미디어/멀티캐스트 데이터를 전송할 때 사용하는 쇄상부호의 두 가지 내부호 구조에 따른 성능을 비교, 분석하였다. 첫 번째 내부호 구조로는 한 외부호 심볼당 하나의 내부호를 사용하는 것이고, 두 번째 내부호 구조로는 두 외부호당 하나의 내부호를 사용하는 것을 고려하였다. 점근적인 수학적 해석을 통하여 후자의 경우가 전자보다 더 성능이 우수함을 확인하였다.

**Key Words** : multimedia/multicast, concatenated code, FH/SS, inner code

### ABSTRACT

In this letter, we compare the performance of two concatenated coding structures in slow FH/SS systems for multimedia/multicast transmission on shipboard. Two outer code symbols are transmitted during a hop. The first structure consists of one inner codeword per one outer code symbol, while the second structure consists of one inner codeword per two outer code symbols. We analyze the overall block error probability in asymptotic region and show that the performance of the second scheme is superior to the first one.

### 1. 서 론

최근 국제해사기구, 즉 IMO에서는 새로운 해상통신시스템 설계를 위한 작업을 진행하고 있다. 이에 따라 선박 간 통신, 선박과 육지의 해안국 간의 양방향 무선 데이터 통신을 위한 통신 플랫폼 설계와 새로운 전송기술에 대한 연구 개발이 진행되고 있다.<sup>[1]</sup> 이런 경향에 발맞추어 셀룰라 환경에서 개발되어온 기존

무선 멀티미디어/멀티캐스트 전송기술을 선박내 해상환경에서도 동일/동급 서비스로 제공하기 위한 해상통신 기술로의 진화와 연구 개발이 병행되고 있다.<sup>[2,3]</sup>

본 논문에서는 이러한 선박내 무선 멀티미디어/멀티캐스트 서비스를 위해서 전송 방식으로는 느린 주파수도약 대역확산 통신을 고려한다.<sup>[4]</sup> 오류정정부호로는 쇄상부호를 적용하는데 두 가지의 내부호 구조에 대하여 전송 성능을 평가한다. 첫 번째 고려하는

\* 본 연구는 서울과학기술대학교 해외파견 연구교수 지원으로 수행되었습니다.

• First Author : Department of Electronic and IT Media Engineering, Seoul National University of Science & Technology, y.lee@snut.ac.kr, 중신회원

o Corresponding Author : Department of Information Electronics Engineering, Mokpo National University, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원  
 논문번호 : KICS2014-10-410, Received October 8, 2014; Revised December 9, 2014; Accepted December 9, 2014

내부호 구조로는 한 외부호 심볼에 하나의 내부호 코드워드를 사용하는 방식이다. 이것을 (N,K)(N,K) 방식이라고 하자. 또 하나의 고려하는 내부호 방식으로는 두 개의 외부호 심볼을 하나의 내부호 코드워드에 맵핑하는 것이다. 이것은 (2N,2K) 방식이라고 명명하기로 하자. 본 레터에서는 느린 주파수 도약을 가정하고, 한 홉당 두 개의 외부호 심볼이 전송된다고 가정할 때 본 논문에서 제시하는 두 가지의 내부호 구조 변화에 따른 전체 쇄상부호의 성능을 분석하고 평가한다.

### II. (N,K)(N,K) 내부호화 방식

본 절에서 고려하는 (N,K)(N,K) 방식에서는 두 내부호의 복호가 독립적으로 이루어진다. 그러면 그림 1과 같이 내부호화기, 채널, 내복호화기로 이루어진 수퍼채널<sup>[5]</sup>을 통과한 두 외부호 심볼은 오류 검출(detected), 미검출(undetected), 오류 정정(corrected)의 경우를 갖는 조인트 확률을 구성하게 된다.  $E_i$ 를 한 외부호 심볼의 경우의 사건이라고 하면  $i \in \{d, ud, c\}$  중의 하나이다. 여기서  $d$ 는 오류 검출,  $ud$ 는 오류 미검출,  $c$ 는 오류 정정의 경우를 각각 나타낸다. 그러면,  $E_i E_j$ ,  $i, j \in \{d, ud, c\}$ 는 첫 번째 외부호 심볼은  $E_i$ , 두 번째 외부호 심볼은  $E_j$ 인 경우를 나타내는 것이다.

내부호에 의해 생성된 수퍼채널을 통과한  $n/2$ 개의 외부호는 다항분포를 가지게 된다. 그러므로 리드-솔로몬 외부호의 블록 오류확률은 다음과 같이 표현된다.

$$P'_E = \sum_{2t+e > n-k} \frac{(n/2)!}{9 \prod_{k=1}^9 (n_k)!} P_{d_1 d_2}^{n_1} P_{ud_1 ud_2}^{n_2} P_{c_1 c_2}^{n_3} \times P_{d_1 ud_2}^{n_4+n_5} P_{d_1 c_2}^{n_6+n_7} P_{ud_1 c_2}^{n_8+n_9} \quad (1)$$

위 (1)식에서  $e = 2n_1 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7$ 이고,  $t = 2n_2 + n_4 + n_5 + n_8 + n_9$ 이다. 여기서 두 외부호 심볼

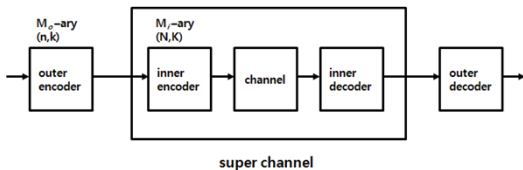


그림 1. 쇄상부호 시스템과 수퍼채널  
Fig. 1. Concatenated coding system and super channel

의 결합확률  $P_{i_1 i_2}$ ,  $i, j \in \{d, ud, c\}$ 는 전체확률의 정리<sup>[6]</sup>로부터 유도될 수 있다.

### III. (2N,2K) 내부호화 방식

만약 두 외부호 심볼당 하나의 내부호 코드워드를 사용한다면 내부호에 의해 생성된 수퍼채널은  $M$ 진 소거 및 오류채널로 모델링할 수 있다. 내부호에 의해서 오류가 검출 혹은 정정된다면 한 내부호 코드워드는 두 개의 외부호 소거 심볼 혹은 정정된 심볼에 해당되는 것이다. 그러나 만약 내부호에 의해서 오류가 미검출 된다면 이것은 다음의 두 가지 경우를 야기시킨다. 첫째는 한 내부호 코드워드가 두 개의 미검출된 외부호 심볼로 복호되는 것이다. 두 번째는 두 개의 외부호 심볼로 복호될 때 하나는 미검출(또는 정정된) 심볼, 다른 하나는 정정된(또는 미검출) 심볼로 각각 복호되는 것이다. 본 논문에서는 후자의 경우는 고려하지 않기로 한다. 왜냐하면 후자의 경우가 발생할 확률이 전자의 경우보다 매우 작기 때문이다. 따라서 리드-솔로몬 외부호의 블록 오류확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P''_E = \sum_{4t+2e > n-k} \frac{(n/2)!}{t!e!(n/2-t-e)!} \times P_d^e P_{ud}^t (1 - P_d - P_{ud})^{n/2-t-e} \quad (2)$$

식 (2)에서  $t$ 와  $e$ 는 각각 내부호에서 오류검출 및 미검출한 심볼의 개수를 나타내며,  $P_d, P_{ud}, P_c$ 는 각각 오류검출, 미검출, 오류정정 확률로서 느린 주파수 도약 대역확산통신 방식을 사용할 때 주파수 홉의 수, 사용자수 등의 함수로 유도되어질 수 있다.

### IV. 점근적 해석과 성능비교 결과

위 절 II, III에서 유도한 블록 오류확률 (1)과 (2)를 유한한 외부호 블록길이에서 비교하는 것은 매우 어렵다. 왜냐하면 성능비교를 위해서 모든 가능한  $n_k$ 들의 경우의 수를 고려해야하는데 이 계산은 매우 많은 시간이 걸리기 때문이다. 그래서 본 논문에서는 점근적인 관점에서 무한의 블록길이를 갖는 경우에 그 성능을 비교하고자 한다.

약한 큰수의 법칙(Weak Law of Large Numbers)<sup>[6]</sup>으로부터 (N,K)(N,K) 방식의 블록 오류확률은 점근적

으로 다음과 같다.

$$\lim_{n,k \rightarrow \infty} P'_E = \begin{cases} 0, & r < 1 - S' \\ 1/2, & r = 1 - S' \\ 1, & r > 1 - S' \end{cases} \quad (3)$$

위 식에서  $S'$ 은 다음과 같다.

$$S' = P_{d_1c_2} + 2P_{ud_1c_2} + P_{d_1d_2} + 3P_{d_1ud_2} + 2P_{ud_1ud_2} \quad (4)$$

한편 같은 방법으로 (2N,2K) 방식의 블록 오류확률도 점근적으로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\lim_{n,k \rightarrow \infty} P''_E = \begin{cases} 0, & r < 1 - S'' \\ 1/2, & r = 1 - S'' \\ 1, & r > 1 - S'' \end{cases} \quad (5)$$

식 (5)에서  $S''$ 은 다음과 같다.

$$S'' = P_d + 2P_{ud} \quad (6)$$

결국 점근적 블록오류확률이 0로 가는 영역 (즉, 오류없이 통신할 수 있는 최대 가능한 외부호율인  $1 - S'$ 와  $1 - S''$ 를 비교하면 된다.

그림 2에서는 느린 주파수도약 대역확산 통신시스템에서 쇄상부호를 사용할 때 채널의 동시사용자 수  $I$ 에 따른 (N,K)(N,K) 방식과 (2N,2K) 방식의 성능을 비교하였다. 주파수 도약에 사용되는 홉핑 주파수의

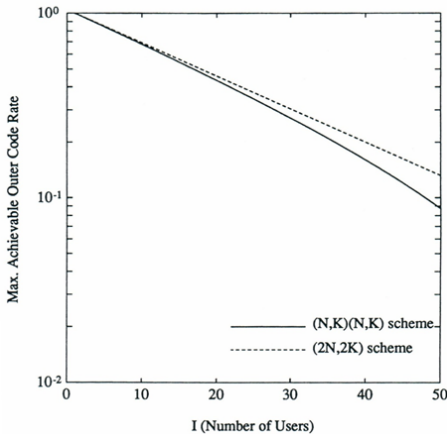


그림 2. 사용자 수에 따른 최대 획득 가능한 외부호율 ( $q=25, n=2048, N=15, K=11$ )  
 Fig. 2. Maximum achievable outer code rate versus number of users  $I$  ( $q=25, n=2048, N=15, K=11$ )

개수  $q=25$ 인 경우이며,  $N=15$ 일 때  $1 - S'$ 와  $1 - S''$ 를 비교하였다. 외부호의 블록길이  $n$ 은 2048로 설정하였는데 이것은 점근적 성능을 보여줄 수 있는 충분한 크기이다. 내부호의 정보 심볼의 길이  $K$ 는  $\log_2 2048 = 11$ 이다. 그림 2로부터 (2N,2K) 내부호 방식이 (N,K)(N,K) 내부호 방식에 비하여 더 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 특히 채널 트래픽이 증가할수록 (즉, 주어진 주파수 슬롯을 동시에 사용하는 사용자 수가 많아질수록) 두 방식 사이의 성능차이가 더 커짐을 관찰할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문은 느린 주파수도약 대역확산 통신방식을 이용하여 선박내 멀티미디어/멀티캐스트 데이터를 전송할 때 쇄상부호의 두 가지 내부호 구조에 따른 전체 쇄상부호 시스템의 성능을 분석하였다. 첫 번째 내부호 구조로는 한 외부호 심볼당 하나의 내부호를 사용하는 것이고, 두 번째 내부호 구조로는 두 외부호당 하나의 내부호를 사용하는 것을 고려하였다. 점근적인 수학적 분석을 통하여 채널의 트래픽이 증가할수록 (즉, 주어진 주파수 슬롯을 동시에 액세스하는 사용자의 수가 증가할수록) 후자의 경우가 전자보다 더 성능이 우수함을 알 수 있었다.

## References

- [1] O. S. Park and D. H. Kim, "Technical trends in maritime radio communications for e-navigation," *Electron. Telecommun. Trends*, vol. 27, no. 2, pp. 51-58, Apr. 2012.
- [2] J. W. Jung, H. C. Kwon, Y. J. Kim, S. H. Park, and S. R. Lee, "A study on high speed LDPC decoder algorithm based on DVB-S2 standard," *J. KICS*, vol. 38C, no. 03, pp. 311-317, Mar. 2013.
- [3] D. H. Kim, W. Li, J. Lee, and S. R. Lee, "MIMO ARQ systems using alamouti coding with optimal retransmission order for maritime communications system," *J. KICS*, vol. 38C, no. 04, pp. 394-401, Apr. 2013.
- [4] L. Milstein, S. Davidovici, and D. Schilling, "Coding and modulation technique for frequency-hopped spread-spectrum communications over a pulse-burst jammed rayleigh fading

channel," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 3, no. 05, pp. 644-651, Sept. 2006.

- [5] R. E. Blahut, *Theory and Practice of Error Control Codes*, Addison Wesley Pub. Co., 1983.
- [6] A. Papoulis, *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*, McGrawHill Inc., Kogakusha, Ltd., 1965.

**이 예 훈 (Ye Hoon Lee)**



2000년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 박사  
2000년 8월~2001년 7월 : LG 전자 차세대 단말 연구소 선임연구원  
2001년 8월~2002년 12월 : 미국 뉴저지주립공대 Research Associate

2003년 3월~2005년 9월 : 삼성종합기술원 i-Networking Lab. 전문연구원

현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 부교수  
<관심분야> 이동통신, 통신이론, 방송통신

**이 성 로 (Seong Ro Lee)**



1987년 2월 : 고려대학교 전자공학과 공학사

1990년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사

1996년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사

1997년 9월~현재 : 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레미틱스응용분야, 임베디드시스템