

# FHT를 이용한 RM부호 인식 알고리즘

준회원 강인식\*, 이현\*, 이재환\*, 정회원 윤상범\*\*, 박철순\*\*\*,  
 종신회원 송영준\*

## Recognition Algorithm for RM Codes Using Fast Hadamard Transform

In-sik Kang\*, Hyun Lee\*, Jae-hwan Lee\* *Associate Members*,  
 Sang-bom Yun\*\*, Cheol-sun Park\*\*\* *Regular Members*, Young-joon Song\* *Lifelong Member*

### 요 약

잡음이 존재하는 채널을 통하여 디지털 통신을 하는 경우 잡음으로 인한 오류를 검출, 정정하기 위하여 채널 부호화 기법이 사용된다. 채널 부호화 된 신호가 전송이 되었을 때 수신 측에서 채널 부호화 기법의 종류와 생성 파라미터를 알지 못한다면 신호의 복호는 어렵게 된다. 본 논문에서는 FHT(Fast Hadamard Transform)를 사용하여 RM(Reed-Muller) 부호 파라미터 인식 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 FHT 결과 값의 특성을 이용하여 RM 부호를 판별하고 생성 파라미터를 추정한 후 복호를 수행한다. 또한 제안된 알고리즘을 AWGN 채널 환경에서 시뮬레이션을 통하여 검증한다.

**Key Words** : RM(Reed Muller) code, FHT(Fast Hadamard Transform), coding parameters, recognition algorithm

### ABSTRACT

The use of an error-correcting code is essential in digital communication systems where the channel is noisy. Unless a receiver has accurate channel coding parameters, it becomes difficult to decode the digitized encoding bits correctly. In this paper, estimation algorithm for RM(Reed-Muller) codes using FHT (Fast Hadamard algorithm) is proposed. The proposed algorithm estimates the channel coding parameters of RM codes and then decodes the codes using the characteristic of FHT. And we also verify the algorithm by performing intensive computer simulation in additive white gaussian noise (AWGN) channel.

### I. 서 론

잡음이 존재하는 채널을 통하여 디지털 통신을 하는 경우, 오류를 검출하고 정정하기 위하여 채널 부호화를 사용하게 된다. 채널 부호화된 신호를 복호하기 위해서는 채널 부호의 종류와 생성 파라미터에 맞는 복호기를 사용하여야 하기 때문에 수신

측에서는 미리 그 정보를 알고 있어야만 정확한 복호가 가능하다. 만약 수신된 신호의 정보를 알 수 없는 상태에서 복호를 수행해야 할 경우 채널 부호의 종류와 파라미터를 찾아내는 것이 중요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 블록 부호화 방식 중 하나인 RM(Reed Muller)부호의 추정 기법에 대하여 알아본다<sup>[1][3]</sup>.

\* 금오공과대학교 전자공학부 모바일 통신 및 부호 연구실 (yjsong@kumoh.ac.kr) (° : 교신저자)

\*\* LIG넥스원(yunsangbom369a@lignex1.com), \*\*\* 국방과학연구소 (csun@add.co.kr)

논문번호 : KICS2011-09-396, 접수일자 : 2011년 9월 14일, 최종논문접수일자 : 2012년 1월 17일

RM부호는 블록 부호화 방식의 하나로 특정한 개수의 기저 벡터를 생성하고 이 기저 벡터를 조합하여 생성 행렬이 만들어 진다. 따라서 기저 벡터의 개수와 조합된 차수가 RM부호의 중요한 생성 파라미터가 된다. 또한 RM부호는 기저 벡터의 개수를 이용하여 부호의 길이가 계산되는 특성이 있으므로 수신된 부호가 RM부호인지 판별하고 부호 길이와 차수를 추정해 낼 수 있다면 RM부호의 모든 생성 파라미터를 알 수 있게 되는 것이다<sup>[4][6]</sup>.

본 논문에서는 RM부호의 복호에 이용되는 FHT(Fast Hadamard Transform)의 특성에 착안하여 RM부호의 판별 및 차수와 부호 길이를 추정하는 방법을 제안한다. 먼저 RM부호의 특성을 알아보기 위하여 RM부호의 구성 원리에 대하여 살펴보고 FHT의 수행 방법을 알아본다. 그 후 RM부호에 FHT를 수행했을 때 그 결과 값이 어떠한 특성을 가지는지 살펴보고 이 특성을 이용하여 RM부호를 판별하고 부호 길이와 차수를 추정하는 방법을 제안한다. 또한 위의 알고리즘을 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 채널 환경에서 시뮬레이션 하여 성능을 검증을 한다.

## II. RM부호의 구성

일반적으로 RM부호는 기저를 생성하고 이 기저를 생성행렬의 행벡터로 사용하여 생성행렬을 만들게 된다. 또한 차수가  $r$ 인 RM부호를  $r$ 차 RM부호라 하며 부호 길이가  $2^m$ 이고 차수가  $r$ 인 RM부호를  $R(r,m)$ 으로 표기한다. 예를 들어 부호 길이가  $2^3$ 인  $R(1,3)$ 부호는 다음과 같은 기저를 가진다.

$$\begin{aligned} 1 &= (11111111) \\ V_3 &= (00001111) \\ V_2 &= (00110011) \\ V_1 &= (01010101) \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서  $m$ 은 차수가 1인 RM부호의 첫 번째 행을 제외한 행벡터의 수와 같은 것을 볼 수 있다. 이와 같이 구성된 기저를 RM부호의 생성행렬로 사용한다. 2차 RM부호의 경우에는 1차 부호의 기저에 1차 부호의 기저와 차수의 조합으로 이루어진 기저가 더해진다. 즉,  $R(2,3)$ 부호를 생성하기 위한 기저는 식 (2)과 같다.

$$\begin{aligned} 1 &= (11111111) \\ V_3 &= (00001111) \\ V_2 &= (00110011) \\ V_1 &= (01010101) \\ V_3V_2 &= (00000011) \\ V_3V_1 &= (00000101) \\ V_2V_1 &= (00010001) \end{aligned} \quad (2)$$

$R(r,m)$ 부호에 사용되는 기저의 개수  $k$ 는 식 (3)와 같이 계산되며 RM부호는 이 기저를 이용하여 생성 행렬을 만들기 때문에  $k$ 는 RM부호의 정보 비트의 수가 된다.

$$k = 1 + \binom{m}{1} + \binom{m}{2} + \dots + \binom{m}{r} \quad (3)$$

RM부호는 위와 같이 매우 간단한 구조로 구성되지만 최소거리는  $2^{m-r}$ 로서 우수한 부호 특성을 가진다<sup>[1][3]</sup>.

## III. Fast Hadamard Transform

RM부호의 복호방법에는 여러 가지 방법이 있지만 1차 RM부호의 경우에는 FHT를 이용하여 간단하게 복호를 수행할 수 있다. FHT는 Hadamard 행렬에서 하나의 행벡터가 수신되었을 때 수신된 행벡터를 찾는 기법으로 Hadamard 행렬과 비슷한 RM부호의 특성을 이용하여 수신된 부호어에 어떠한 기저 성분이 있는지 알 수 있다<sup>[2][3]</sup>.

### 3.1. Hadamard 행렬

Hadamard 행렬이란 행렬의 원소가  $\{+, -\}$ 인  $n \times n$ 행렬  $H_n$ 이  $H_n H_n^T = I_n$ 의 조건을 만족하는 행렬이며 이러한 행렬을 차수가  $n$ 인 Hadamard 행렬, 즉  $n$ 차 Hadamard 행렬이라 한다.

예를 들면 4차 Hadamard 행렬은 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$H_4 = \begin{bmatrix} + & + & + & + \\ + & - & + & - \\ + & + & - & - \\ + & - & - & + \end{bmatrix} \quad (4)$$

### 3.2. 나비 연산

$n$ 차 Hadamard 행렬의  $n$ 개의 행벡터 중에서 한 개가 수신된 경우, 이 벡터가 몇 번째 행벡터에 해

당하는지 알고자 할 때, FHT를 사용하며 FHT는 나비연산(butterfly operation)을 기본연산으로 사용하게 된다.

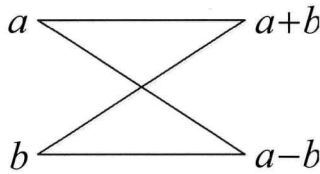


그림 1. 나비연산  
Fig. 1. Butterfly operation

그림 1은 나비연산의 계산 방법을 보기 쉽게 그림으로 나타낸 것이다. 2개의 입력  $a, b$ 가 들어왔을 때 서로 더한 값을 위쪽에 뺀 값을 아래쪽에 나열하면  $a+b, a-b$ 의 두 가지 값이 출력으로 나오게 되는데 이러한 나비연산의 결과 값을 FHT에서 이용하게 된다.

간단한 예를 들어 2차 Hadamard 행렬인  $H_2 = \begin{bmatrix} ++ \\ +- \end{bmatrix}$ 에서 0번 행벡터 (+)와 1번 행벡터 (-)에 대하여 나비연산을 수행하면 그림 2, 3과 같은 결과를 얻을 수 있다.

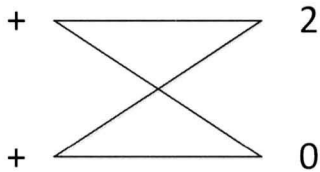


그림 2. (+, +)에 대한 나비연산  
Fig. 2. Butterfly operation for (+, +)

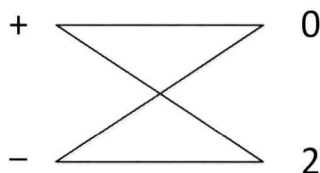


그림 3. (+, -)에 대한 나비연산  
Fig. 3. Butterfly operation for (+, -)

### 3.3. FHT의 수행 방법

만약 사용되는 Hadamard 행렬이 2차 Hadamard 행렬의 행벡터가 아닌 경우에도 나비연산을 반복해서 수행함으로써 행벡터의 위치를 찾을 수 있다. 이 경우 나비연산을 수행하는 순서는 일정한 패턴을

가지고 있는데 4개의 입력비트를 가지는 4차 Hadamard 행렬의 행벡터를 예로 들면 그림 4와 같은 모양이 된다.

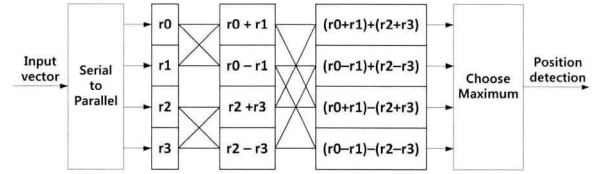


그림 4. 4차 Hadamard 행렬의 행벡터 위치 추정을 위한 나비연산  
Fig. 4. Butterfly operation to estimation the position of a received vector of the 4th order Hadamard matrix

그림 4와 같이 입력 비트수가 4개인 행벡터에 나비연산을 반복하면 입력 비트수가 2개일 때와 같은 결과를 확인할 수 있다. 즉, 행렬에서 행벡터의 위치와 동일한 부분의 결과 값은 입력 비트수와 같은 4가 되며 나머지 부분의 결과 값은 모두 0이 된다. 따라서 가장 큰 결과 값의 위치를 찾음으로써 행벡터의 위치를 알 수 있다. 이러한 방법으로 나비연산을 이용하여  $n$ 차 Hadamard 행렬에서 행벡터의 위치를 찾아내는 알고리즘을 FHT라 한다<sup>3)</sup>. 또한 FHT를 수행한 후 나오는 결과 값 중 가장 큰 크기를 가지는 결과 값을 FHT의 Peak라 하며  $P_{FHT}$ 로 표기한다.

### 3.4. FHT를 이용한 RM부호의 복호

$R(1, m)$ 부호의 기저벡터는  $2^m$ 차 Hadamard 행렬을 발생시키는  $m$ 개의 선형독립 벡터와 모든 원소가 1인 벡터로 구성된다. 따라서 부호의 길이가  $2^m$ 인 RM부호의 부호어에  $2^m$ 차 Hadamard 행렬에서 행벡터의 위치를 찾는 방법과 같은 방법으로 FHT를 수행할 수 있으며 이 때  $P_{FHT}$ 의 위치 정보를 이용하여 복호를 할 수 있다<sup>7)</sup>. 만약 부호 길이가  $2^m$ 인 경우 정보 비트의 크기는  $m+1$ 이 되며  $P_{FHT}$ 는  $\pm 2^m$ 가 된다. 이때  $m+1$ 비트 중 첫 번째 비트는  $P_{FHT}$ 의 극성을 이용하여 결정하는데 극성이 (+)일 경우 0, (-)일 경우 1이 된다. 나머지  $m$ 비트는 FHT 연산을 한 결과 값의 인덱스를  $0 \sim 2^m - 1$ 이라 할 때  $P_{FHT}$ 가 발생한 인덱스를 2진수로 변환하여 결정한다. 이러한 방법으로  $P_{FHT}$ 의 위치를 이용하여 RM부호의 복호를 수행할 수 있다.

예를 들어 부호 길이가 8인 RM부호의 부호어에 FHT 연산을 수행했을 때 세 번째 위치에서  $-8$ 의

$P_{FHT}$ 가 발생했다면 극성이 “-”이므로 첫 번째 비트는 1이 되고 위치 인덱스는 2이므로 나머지 3비트는 010이 된다. 따라서 1010으로 복호된다.

### 3.5. 2차 RM부호의 복호

2차 이상의 RM부호에는 1차 RM부호에서 사용되는 기본 기저성분 외에 1차 부호의 기저를 조합한 기저성분이 사용된다. 따라서 2차 이상의 RM부호에는 기본 기저성분으로 이루어진 1차 부호어에 이러한 기저의 조합으로 이루어진 성분이 더해지게 되는데 이를 마스킹 성분이라고 한다. 이 마스킹 성분이 더해지면 RM부호는 더 이상 Hadamard 행렬의 특성을 가지지 않기 때문에 2차 이상의 RM부호의 부호어에는 직접 FHT를 수행하는 방법으로는 복호가 불가능하다. 따라서 2차 이상의 RM부호의 복호를 위해 2차 이상의 부호에 사용되는 마스킹 성분을 제거하여 1차 RM부호로 만든 후 FHT를 수행하여 복호하는 방법이 연구되었다<sup>[7]</sup>.

그림 5는 다차 RM부호의 복호 과정을 나타낸 그림이다.  $r$ 차 RM부호의 부호어  $C$ 가 수신되었을 때 마스킹 성분을 제거하기 위해 먼저  $r$ 차에서 생성가능한 모든 마스킹 성분을 생성한다. 이 때  $M_i, i=1, \dots, q$ 는  $i$ 번째 마스킹 성분을 의미한다. 예를 들어 식 (2)의  $V_3 V_2, V_3 V_1, V_2 V_1$ 는 각각  $M_1, M_2, M_3$ 에 해당한다. 그 후 수신된 부호에 각각의 마스킹 성분을 제거한 부호들을 생성한다. 이 때 마스킹 성분이 제거된 부호들은  $C \oplus M_1, C \oplus M_2, \dots, C \oplus M_q$ 가 된다. 만약 실제로 적용된 마스킹 성분이  $M_a$ 라면  $C \oplus M_a$ 는 1차 RM부호가 되므로  $C \oplus M_a$ 에 FHT 연산을 수행하면 크기가  $2^m$ 인  $P_{FHT}$ 가 발생된다. 하지만 그 외의 다른 마스킹 성분을 제거한 부호에 FHT 연산을 수행했을 때에는 1차 RM부호의 특성을 보이지 않으므로  $2^m$ 보다 작은 크기의  $P_{FHT}$ 가 발생하게 된다. 따라서 마스킹 성분을 제거한 부호들에 FHT 연산을 수행한 후  $P_{FHT}$ 의 크기가 가장 큰 부호를 찾음으로써 올바른 마스킹 성분인  $M_a$ 를 찾을 수 있다. 이러한 방법으로 마스킹을 제거한 1차 부호의 정보 비트와 마스킹 성분  $M_a$ 에 대한 정보 비트를 결합하여  $r$ 차 RM부호의 복호를 수행한다.

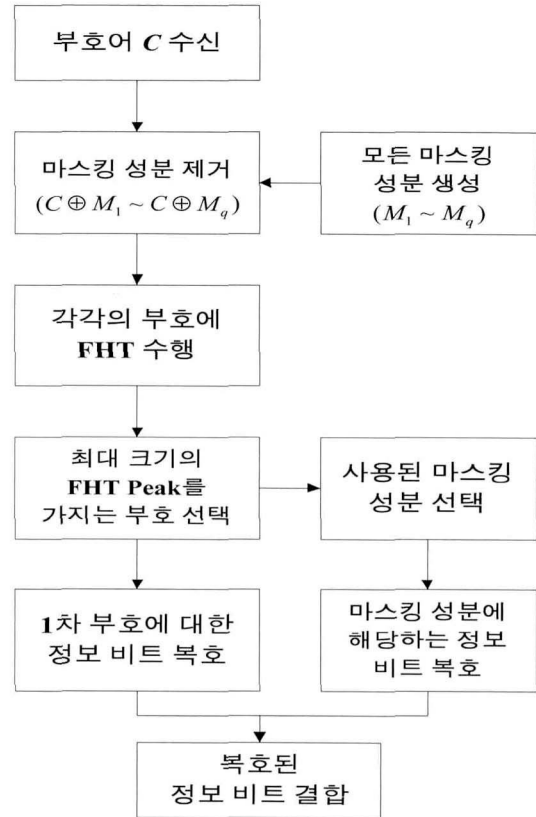


그림 5. FHT를 이용한 RM부호의 복호 과정  
Fig. 5. Decoding process of RM code using FHT

## IV. 채널 상태에 따른 FHT Peak의 크기

만약 수신된 부호에 오류가 포함되었을 경우 발생한 오류의 수에 따라  $P_{FHT}$ 의 크기가 달라지는데 연판정 값을 이용하게 되면 오류가 존재하더라도 비교적 정확하게  $P_{FHT}$ 를 찾을 수 있다. 따라서 대부분의 경우 FHT에는 연판정 값을 이용하게 된다.

그림 6은 RM부호와 콘볼루션 부호에 각각 FHT를 수행한 후  $P_{FHT}$ 의 크기를 나타낸 그래프이다. RM부호는  $R(1,4)$  부호를 이용하였으며 AWGN채널을 통과한 10000개의 부호어에 각각 FHT를 수행한 후 그 평균값을 구하였다. 콘볼루션 부호는 부호율이 1/2이고 구속장이 7인 부호를 사용하였다.

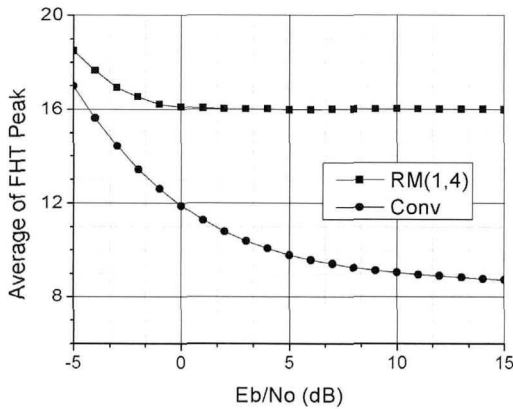


그림 6. AWGN 채널에 따른 랜덤 부호화 RM(1,4) 부호의 평균 FHT Peak 값  
 Fig. 6. Average peak values of FHT for RM(1,4) in AWGN channel

그림 6에서 콘볼루션 부호에 대하여 FHT를 수행한 경우  $P_{FHT}$ 의 크기가 RM부호보다 작은 것을 볼 수 있다. 즉 RM부호가 아닌 부호에 FHT를 수행하였을 때  $P_{FHT}$ 의 크기는 RM부호에 수행하였을 때와 구분이 가능할 만큼 작은 크기가 된다. 반면 RM부호를 이용하여 FHT를 수행한 경우 높은 Eb/No에서는  $2^m$ 에 가까운 크기의  $P_{FHT}$ 가 발생하며 Eb/No가 낮아질수록 커진 잡음에 의하여  $P_{FHT}$ 의 크기도 커지는 것을 볼 수 있다.

## V. RM부호의 판별 및 생성 파라미터 추정 방법

### 5.1. RM부호의 판별

수신된 신호에 어떤 채널부호화 기법이 사용되었는지 알 수 없는 경우  $P_{FHT}$ 의 특징을 이용하면 RM부호 여부를 판별할 수 있다. 만약 수신된 부호가 RM부호이고 일정 수준 이상의 채널 상태를 가진다면  $P_{FHT}$ 의 크기는  $2^m$ 에 가까운 값이 될 것이다. 하지만 Hadamard 행렬의 특성을 가지지 않는 임의의 부호라면  $P_{FHT}$ 의 크기는  $2^m$ 보다 작을 것이다. 따라서 수신된 부호에 FHT를 수행하고  $P_{FHT}$ 의 크기를 관찰하여 수신된 부호가 RM부호인지를 판별할 수 있다<sup>[4],[5]</sup>. 만약 수신된 부호에 잡음이 포함되었을 경우  $2^m - \Delta$ 의 임계값을 주고  $P_{FHT}$ 의 크기가 임계값 이상일 경우 RM부호로 판별하게 된다. 이 때  $\Delta$ 는 임의의 부호와 구분될 수 있는 적절한 크기로 결정하며 본 논문에서는 부호 길이의 1/10로 하였다.

### 5.2. 부호 길이의 추정

만약 수신된 부호가 비트스트림 형태일 경우 FHT를 수행하기 위해서는 입력 비트의 수, 즉 부호 길이를 결정하는 과정이 필요하다. RM부호의 부호 길이는  $2^m$ 으로 계산되므로 추정하고자 하는  $m$ 의 범위를 결정하면 부호 길이를 계산할 수 있고 이 부호 길이로 가정하고 FHT를 수행해 볼 수 있다.

부호 길이가  $2^m$ 인  $R(1,m)$ 부호는 부호 길이가  $2^{m-1}$ 인  $R(1,m-1)$ 부호의 부호어 조합으로 생성되는 특성을 가지고 있다. 따라서  $R(1,m)$ 부호를  $R(1,m-1)$ 로 가정하고 FHT를 수행하면  $R(1,m-1)$ 부호와 동일한 결과를 얻게 된다. 따라서 실제 부호보다 더 작은  $m$ 을 이용하게 되면 RM부호의 판별은 가능하지만 부호 길이는 추정할 수 없게 된다. 반면  $R(1,m)$ 부호를 부호 길이가  $2^{m+1}$ 인  $R(1,m+1)$ 로 가정하고 FHT를 수행하였을 때에는  $P_{FHT}$ 의 크기가 항상  $2^{m+1}$ 이 되지 않는다. 그 이유는  $R(1,m)$ 부호를 두 번 반복해서 만든 모든 부호 조합이 항상  $R(1,m+1)$ 부호가 되지 않기 때문이다. 따라서 가정한 부호 길이가 실제 부호 길이보다 길 경우 여러 번의 FHT를 수행하고  $P_{FHT}$ 의 평균값을 구하는 방법으로 구분이 가능하다. 이러한 특성을 이용하면 RM부호의 판별뿐만 아니라 부호 길이까지 추정이 가능하다<sup>[6]</sup>.

그림 7은 RM부호의 판별과 부호 길이를 추정하는 과정을 나타낸 순서도이다. 먼저 FHT 수행에 사용될 부호 길이를 계산하고 가장 짧은 길이부터 단계적으로 FHT를 수행한 후  $P_{FHT}$ 의 크기를 이용하여 RM부호인지 판별한다. 만약 RM부호로 판별되지 않는 부호 길이가 발생한다면 바로 전 단계의 부호 길이가 수신 부호의 길이이다. 또한 가장 짧은 부호 길이에서도 RM부호의 판별이 되지 않는다면 수신 부호는 RM부호가 아닌 것으로 판단한다.

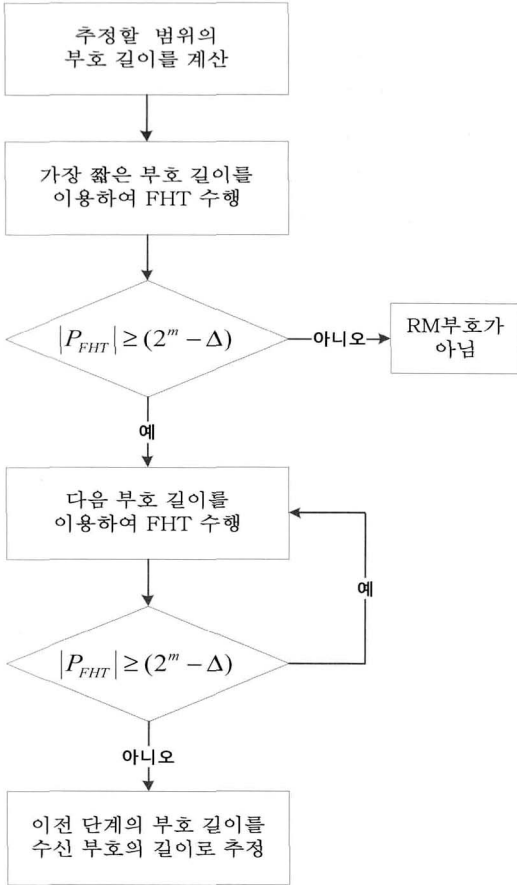


그림 7. RM부호의 판별 및 부호 길이 추정 과정  
Fig. 7. Estimation of code length for RMcode

5.3. RM부호의 차수 추정

2차 이상의 RM부호에는 1차 RM부호에서 사용되는 기본 기저성분 외에 1차 부호의 기저를 조합한 기저성분이 사용되는데 이를 마스킹 성분이라고 한다. 이 마스킹 성분이 더해지면 RM부호는 더 이상 Hadamard 행렬의 특성을 가지지 않기 때문에 2차 이상의 RM부호의 부호어에는 직접 FHT를 수행하여도 복호가 불가능하다. 따라서 2차 이상의 RM부호의 복호를 위해 2차 이상의 부호에 사용되는 마스킹성분을 제거하여 1차 RM부호로 만든 후 FHT를 수행하여 복호하는 방법이 연구되었다<sup>[7]</sup>.

다차 RM부호의 인식에는 이러한 복호 방법과 마찬가지로 RM부호의 마스킹 성분을 제거하고 FHT를 수행하여  $P_{FHT}$ 를 확인하는 방법을 사용한다. 만약 1차 부호로 가정했을 때 부호 판별 및 길이 추정이 실패하였다면 2차 이상의 RM부호로 가정하고 다음과 같은 방법으로 마스킹 성분을 제거한 후 1차 부호와 동일한 판별 기법을 반복함으로써 부호의 차수를 추정할 수 있다.

먼저 RM부호의 차수를 가정하고 1차 기저성분 이외에 해당 차수의 마스킹 성분으로 조합가능한 모든 경우의 부호벡터 성분을 생성한다. 그 후 조합된 성분을 수신된 신호에서 하나씩 제거하면서 FHT를 수행한다. 만약 올바른 마스킹 성분을 제거하였다면 1차 RM부호가 되므로  $P_{FHT}$ 를 이용해 RM부호인지 판별이 가능하다. 만약 모든 마스킹 성분 조합을 제거하여도 판별이 불가능하면 수신된 신호는 가정한 차수의 RM부호가 아닌 것으로 판단한다. 또한 올바른 차수를 추정하였다면 해당 차수의 마스킹 성분을 제거한 후 동일한 방법으로 길이 추정을 수행한다.

VI. 시뮬레이션

지금까지 수신된 부호의 정보를 알 수 없을 때 이 부호가 RM부호임을 판별하고 부호의 길이 및 차수를 찾는 알고리즘을 살펴보았다. 이 장에서는 지금까지 살펴본 알고리즘을 여러 종류의 RM부호 및 콘볼루션 부호에 적용하였을 때 실제 잡음이 포함된 채널 환경에서 어떠한 결과를 나타내는지 알아본다. 채널 환경은 AWGN 채널을 사용하였으며  $E_b/N_0$ 는 -5dB에 15dB까지 1dB단위로 시뮬레이션을 수행하였다. 각각의 dB에서는 10000번의 FHT를 수행한 후  $P_{FHT}$ 의 평균 크기를 구하여 그래프에 나타내었다.

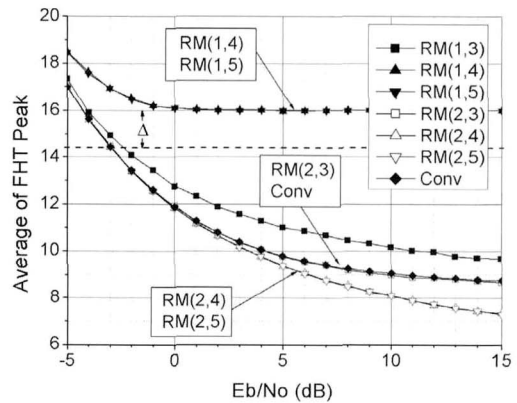


그림 8. AWGN 채널에 따른 평균 FHT Peak 값  
Fig. 8. Average peak values of FHT output in AWGN channel

그림 8은 서로 다른 차수 및 부호 길이를 가지는 RM부호와 콘볼루션 부호에 대하여 부호 길이를 16으로 가정하고 FHT를 수행한 결과를 나타낸 그래프이다. 여기서 콘볼루션 부호는 부호율이 1/2 이

고 구속장이 7인 부호를 사용하였다. 1차 부호 중 부호 길이가 16보다 크거나 같은 RM(1,4), RM(1,5)부호의  $P_{FHT}$ 는 높은  $E_b/N_0$ 에서 가정된 부호 길이인 16에 가까운 크기를 나타내는 것을 볼 수 있다. 하지만 가정된 부호 길이보다 짧은 RM(1,3)부호와 2차 RM부호의  $P_{FHT}$ 는 16보다 작은 크기를 가지며 콘블루션 부호는  $E_b/N_0$ 가 높아질수록 가정된 길이의 절반인 8에 가까워지는 것을 확인 할 수 있다.

이 시뮬레이션을 통하여 부호 길이를 가정하고 FHT를 수행할 경우 부호 길이가 가정된 길이보다 크거나 같은 1차 RM부호는  $P_{FHT}$ 의 크기가 가정된 부호 길이와 일치한다는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 사용된 부호어의 개수나 채널 상태에 따라서 차이가 있을 수 있지만 임계값을 설정하여 판별에 이용하면 잡음이 존재하는 경우에도 RM부호의 추정이 가능할 것으로 생각된다. 단, 잡음에 의하여 잘못된 부호의  $P_{FHT}$  크기 또한 가정된 부호 길이에 가까워지는 -2dB 이하에서는 추정이 어려울 것으로 예상된다.

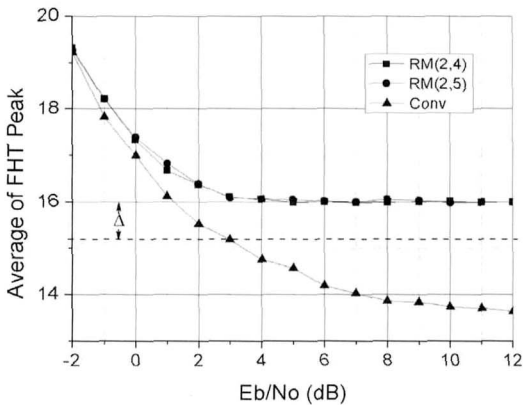


그림 9. 마스크를 제거한 2차 RM부호의 평균 FHT Peak 값  
 Fig. 9. FHT peaks after removal of masking components

그림 9는 수신 부호의 길이가 16인 2차 RM부호라고 가정하고 2차 부호의 마스크를 제거한 후 FHT를 수행한 결과를 나타낸 그래프이다. 높은  $E_b/N_0$ 인 경우 마스크를 제거한 2차 RM부호의  $P_{FHT}$ 는 가정된 부호 길이인 16에 가까운 크기를 가지는 것을 볼 수 있다. 하지만 콘블루션 부호의  $P_{FHT}$ 는 여전히 16보다 낮은 크기를 갖게 된다. 이와 같이 마스크를 제거한 후 FHT를 수행하게 되면

1차 RM부호와 같은 특성을 나타내므로 2차 이상의 다차 RM부호의 경우에도 인식이 가능하다는 것을 알 수 있다.

### Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 수신된 부호의 정보를 알 수 없는 경우 수신된 부호가 RM부호인지를 판별하고 부호 길이와 차수를 추정하는 방법을 알아보았다. RM부호는 FHT를 수행하였을 때 부호 길이와 같은 크기의  $P_{FHT}$ 를 가지는 특성이 존재한다. 또한 실제 부호 길이보다 짧은 길이로 가정하고 FHT를 수행하여도 그 결과 값은 가정된 부호와 같은 크기를 가지짐을 살펴보았다. 따라서 수신된 부호에 FHT를 수행한 후  $P_{FHT}$ 의 크기를 관찰함으로써 RM부호의 판별이 가능하며 실제 길이보다 긴 길이로 가정했을 경우 이 특성이 사라지는 점을 이용하여 부호 길이를 추정할 수 있다. 2차 이상의 RM부호일 경우 먼저 차수를 가정하고 마스크를 제거한 다음 FHT를 수행함으로써 이 알고리즘을 2차 이상의 다차 RM부호의 판별 및 차수 추정에 이용할 수 있다. 또한 본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘이 실제 채널 환경에서 어떠한 결과를 나타내는지 검증하였다. 시뮬레이션을 통하여 적절한 임계값을 설정함으로써 오류가 포함된 채널 환경에서도 RM부호의 판별과 파라미터 추정이 가능함을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] S. Lin and D. J. Costello, *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, Prentice Hall, Inc., 1983.
- [2] Robert H. Morelos-Zaragoza, *The Art of Error Correcting Coding*, John Wiley & Sons, Ltd, 2007.
- [3] 송영준, *통신공학을 위한 부호이론*, 인피니티북스, 2008.
- [4] 강인식, 이현, 한성재, 박철순, 소준호, 송영준, "FHT를 이용한 RM 부호의 추정 및 복호", *국방과학연구소 40주년 기념 학술대회 논문집*, pp.300-303, 8월 2010년.
- [5] In-Sik Kang, Hyun Lee, Sung-Jae Han, Cheol-Sun Park, Jun-Ho Soh, Young-Joon

Song, "Reconstruction Method for Reed-Muller Codes Using Fast Hadamard Transform", in *Proc. ICACT2011*, pp. 793-796, Feb. 2011.

- [6] 강인식, 이현, 이재환, 한성재, 박철순, 송영준, "FHT를 이용한 RM부호의 길이 추정 알고리즘", *한국정보기술학회 하계 종합학술대회 논문집*, pp. 105-107, 5월 2011년.
- [7] Young-joon Song, "Optimized Channel Coding of Control Channels for Mobile Packet Communication", *Journal of the korea electromagnetic engineering society*, vol. 3, no. 1, pp. 50-56, May 2003.

강 인 식 (In-sik Kang) 준회원



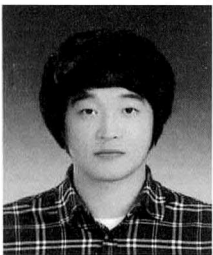
2010년 2월 금오공과대학교  
전자공학과 학사  
2010년 2월~현재 금오공과대  
학교 전자공학과 석사과정  
<관심분야> 이동통신 시스템,  
부호 이론

이 현 (Hyun Lee) 준회원



2010년 2월 금오공과대학교  
전자공학과 학사  
2010년 2월~현재 금오공과대  
학교 전자공학과 석사과정  
<관심분야> 이동통신 시스템,  
부호이론

이 재 환 (Jae-hwan Lee) 준회원



2011년 2월 금오공과대학교  
전자공학과 학사  
2011년 2월~현재 금오공과  
대학교 전자공학과 석사과  
정  
<관심분야> 이동통신 시스템,  
부호이론

윤 상 범 (Sang-bom Yun) 정회원



1999년 2월 고려대학교 제어  
계측공학과 학사  
2002년 2월 고려대학교 전기  
공학과 석사  
2002년~현재 LIG 넥스원 전  
자전 연구센터 수석연구원

<관심분야> 통신, 컴퓨터, 신  
호처리, 반도체

박 철 순 (Cheol-sun Park) 정회원



1989년 2월 경기대학교 전자  
계산학과 학사  
1991년 2월 인하대학교 전자  
계산공학과 석사  
1991년~현재 국방과학연구소  
선임연구원  
1997년 전자계산 조직응용  
기술사

2007년 충남대학교 정보통신공학과 박사  
<관심분야> 신호처리, 통신응용

송 영 준 (Young-joon Song) 중신회원



1987년 2월 한양대학교 전자  
통신공학과 공학사  
1994년 2월 한양대학교 전자  
통신공학과 공학석사  
1999년 2월 한양대학교 전자  
통신공학과 공학박사  
2006년 1월~2007년 1월 미  
국 하와이 주립대학교

방문학자

2002년 3월~현재 금오공과대학교 전자공학부 부교  
수

<관심분야> 이동통신 시스템, 부호 이론