

확대 Hamming 부호를 이용한 오류제어선로부호

正會員 金 貞 九* 正會員 鄭 倉 基* 正會員 李 壽 寅* 正會員 朱 彥 熨*

An Error Control Line Code Based on an Extended Hamming Code

Jeong Goo Kim*, Chang Ki Jeong*, Soo In Lee*,
Eon Kyeong Joo* *Regular Members*

要 約

본 논문에서는 확대 Hamming 부호를 이용한 새로운 오류제어선로부호를 제안하고 그 성능을 분석한다. 제안된 부호는 최소 Hamming 거리가 4이므로 기본적으로 한개의 오류를 정정할 수 있고 두개의 오류를 검출할 수 있다. 또한 선로부호에 사용되는 여분의 비트를 이용하여 오류검출 능력을 증가시킬 수 있다. 결과적으로 제안된 부호는 Hamming (7, 4) 부호를 이용한 기존의 오류정정선로부호에 비해 부호율은 다소 떨어지나 저주파대역에서의 스펙트럼 특성이 더 우수하며 더 적은 복호비트오율을 가진다.

ABSTRACT

A new error control line code based on an extended Hamming code is proposed and its performance is analyzed in this paper. The proposed code is capable of single error correction and double error detection since its minimum Hamming distance is 4. In addition, the error detection capability can be increased due to the redundancy bit used for line coding. As a result, the proposed code shows lower code rate, but better spectral characteristics in low frequency region and lower residual bit error rate than the conventional error correcting line code using Hamming (7, 4) code.

I. 서 론

여분의 비트를 정보비트에 추가하여 실제 전송채널에서 나타나는 여러가지 문제를 해결하여 효율적

인 통신이 가능하도록 하는 부호로서 오류제어부호(error control code)⁽¹⁻⁵⁾와 선로부호(line code)⁽⁶⁻⁸⁾ 등이 있다. 최근에는 이러한 두 부호기법을 결합하여 오류제어능력 및 스펙트럼 조절능력을 동시에 갖도록 한 오류제어선로부호(error control line code)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 대표적인 예로서 Herro와 Deng에 의해서 발표된 coset 부호⁽⁹⁾와 O'Reilly와 Popplewell에 의해서 발표된 오류제어선로부호⁽¹⁰⁾ 등이 있다.

*慶北大學校 電子工學科
Dept. of Electronics, Kyungpook National University
論文番號 : 93258
接受日字 : 1993年 12月 28日

그러나 이제까지의 오류제어선로부호에 대한 대부분의 연구는 오류제어능력의 극대화를 위해 부호어 길이가 홀수인 기존의 블럭오류정정부호의 이용에 국한되었다.⁽⁹⁻¹²⁾ 따라서 이는 좀더 정확하게 표현한다면 오류정정선로부호(error correcting line code)로 볼 수 있다. 이러한 기존의 오류정정선로부호는 선형블럭부호를 이용함으로써 오류정정능력이 뛰어난 뿐만 아니라 부호화와 복호화 과정이 간단하여 고속의 데이터 통신에 사용될 수 있다. 그러나 이 경우 부호어의 길이가 홀수이므로 부호어내의 1의 갯수에서 0의 갯수를 뺀 값으로 정의되는 디스패리티(disparity)의 절대값이 항상 1 이상이 되어 저주파성분의 억압능력에서 저하를 초래했다. 따라서 저주파성분의 억압능력을 향상시키기 위해서는 각 부호어의 디스패리티가 0이 되는 것이 바람직하며 이것은 부호어의 길이가 짝수일 때 가능하다. 일반적으로 부호어의 길이가 짝수이면 부호어내의 1의 갯수인 중(weight)도 역시 짝수로 할 수 있다. 또한 부호어의 중이 짝수이면 부호어 사이의 최소거리도 짝수가 되므로 오류정정능력 뿐만 아니라 오류검출능력까지 추가된다.⁽⁵⁾

본 논문에서는 부호어의 길이 및 중을 짝수로 하기 위하여 Hamming (7, 4) 부호에서 오류 검출능력이 추가된 확대 Hamming 부호를 이용한 오류제어선로부호를 제안한다. 그리고 제안된 부호의 성능을 기존의 Hamming (7, 4) 부호를 이용한 오류정정선로부호의 성능과 비교, 분석한다.

II. Hamming (7, 4) 부호를 이용한 기존의 오류정정선로부호

기존의 오류정정선로부호⁽¹⁰⁾는 부호의 투명한(transparent) 성질을 이용하며, 선로부호당 결합되는 오류정정부호의 수로 정의되는 블럭수(block number, N)의 개념을 도입하여 부호율을 개선한다. 그러나 블럭수가 3 이상인 경우에는 개선되는 부호율에 비해 시스템의 복잡성이 더 커진다. 따라서 여기서는 블럭수가 1인 부호와 블럭수가 2인 부호에 대해서 Hamming (7, 4) 부호를 적용한 경우를 살펴본다. 편의상 본 논문에서는 이러한 오류정정선로부호를 제안자의 이름에 따라 OP(O'Reilly and Popplewell) 부호라 한다.

먼저 블럭수가 1인 경우에는 3비트 정보어를 4비트 부호어로 만들기 위해 0을 여분의 비트로 추가하며, 이 4비트 부호어에 Hamming (7, 4) 부호의 부호화 과정을 적용하여 7비트 부호어를 만든다. 이렇게 구

성된 7비트 부호어의 디스패리티가 그 이전 전송부호어까지 1의 갯수에서 0의 갯수를 뺀 값으로 정의되는 축적 디스패리티(running disparity)와 그 극성이 반대일 경우에는 7비트 부호어를 그대로 전송한다. 그러나 그 극성이 같을 경우에는 축적 디스패리티의 범위를 줄여 주기 위해 1과 0을 반전시켜 전송한다. 이와 같이 만들어진 전송부호어는 최소한 1 이상의 디스패리티를 가질 뿐만 아니라 모두 0이거나 모두 1인 부호어를 포함하고 있다. 따라서 축적 디스패리티가 -7에서 6사이의 값을 가지게 되어 스펙트럼 조절능력이 떨어지며 줄길이(runlength)가 길어진다.

줄 길이를 줄여 주고 저주파성분의 억압능력을 향상시키기 위해서는 모두 0이거나 모두 1인 부호어를 배제하는 것이 바람직하며, 이것은 2개의 오류제어부호를 결합하여 선로부호를 구성함으로써 가능하다. 즉, 블럭수가 2인 경우에는 7비트 정보어에 1비트의 0을 추가하여 8비트 부호어로 만든 후 이것을 두 개의 4비트 부호어 U_2 와 U_1 으로 분리한다. 이때, U_2 혹은 U_1 이 모두 0 또는 모두 1이 아닌 경우에는 각각에 대해서 Hamming (7, 4) 부호의 부호화 과정을 적용하여 7비트 부호어 V_2 와 V_1 을 생성한다. 그러나 U_2 혹은 U_1 이 모두 0이거나 모두 1인 경우에는 첫번째 비트가 1인 부호어를 V_2 로 선택하여 적용하고, V_1 은 V_2 와 디스패리티의 절대값이 같고 극성이 반대인 부호어를 선택하여 사용한다. 이와 같이 구해진 V_2 와 V_1 을 연결하여 14비트 부호어 V 를 만든다. 여기서 이 14비트 부호어 V 의 디스패리티의 극성과 그 이전 축적 디스패리티의 극성을 비교하여 블럭수가 1인 경우와 동일한 방법으로 반전여부를 결정하여 14비트 전송부호어를 만든다. 이 경우 V 의 디스패리티가 0인 경우는 반전되지 않는다. 이와 같은 부호화 과정에 의해서 14비트 전송부호어의 디스패리티는 -2, 0, 2이며, 따라서 블럭수가 1인 경우에 비해서 더 향상된 저주파 억압특성을 나타낸다.

III. 확대 Hamming 부호를 이용한 오류제어선로부호

전술한 바와 같이 기존의 오류정정선로부호는 오류제어능력의 극대화를 위해서 부호어의 길이가 홀수인 블럭오류정정부호를 사용하였다. 그러나 부호어의 길이가 홀수인 블럭오류정정부호를 사용함으로써 직류성분의 제거 및 저주파성분의 억압과 같은 스펙트럼 조절능력이 미흡하였다. 이것의 원인으로 다

음의 두 가지를 들 수 있다. 첫째, 각 부호어의 디스패리티가 적어도 1 이상이며 이로 인해 축적 디스패리티의 범위가 커지기 때문이다. 둘째, 줄 길이에 대한 고려를 전혀 하지 않고 줄 길이가 긴 부호어를 그대로 사용하므로 전체부호의 전송열에서 줄 길이가 길어지기 때문이다. 부호어의 전송열에서 줄 길이를 줄이면 부수적인 효과로서 저주파 성분의 억압능력이 향상된다.⁽¹³⁻¹⁴⁾ 그러므로 좀 더 우수한 스펙트럼 특성을 얻기 위해서는 부호어의 디스패리티가 0이 되는 것이 바람직하며 줄 길이 또한 가능한 줄여 주는 것이 좋다. 우선 첫번째 조건은 부호어의 길이가 짝수인 오류제어부호를 이용함으로써 만족시킬 수 있다. 이러한 부호어를 가지는 오류제어부호로서는 Hamming (7, 4) 부호에 짝수패리티검사비트를 추가하여 생성된 부호어의 길이가 8이고 정보어의 길이가 4인 확대 Hamming 부호가 있다.⁽⁷⁾ 그런데 이 확대 Hamming 부호는 4비트 정보어가 0000이거나 1111인 경우에는 모두 0이거나 모두 1인 부호어를 가지며, 이것은 부호어의 디스패리티가 각각 -8과 8이므로 전체부호어의 전송열에서 디스패리티가 커지는 결과를 초래한다. 그러므로 저주파성분의 억압능력을 향상시키기 위해서는 모두 0이거나 모두 1인 두 부호어를 배제하는 것이 바람직하다. 만약 위 두 부호어를 배제하면 사용가능한 부호어의 갯수는 14개가 된다. 따라서 확대 Hamming 부호를 이용하기 위해서는 정보어의 비트수를 3으로 하고 이 3비트 정보어로부터 4비트 부호어를 만들어야 한다. 이것은 오류제어능력의 향상을 위해서 패리티검사비트를 이용하면 해결된다. 즉 3비트 정보어가 000 혹은 111이 아닌 경우에는 짝수패리티검사비트를 추가하여 4비트 부호어를 만든다. 그러나 3비트 정보어가 000이거나 111인 경우에는 짝수패리티검사비트를 추가하면 0000 또는 1111인 4비트 부호어가 되어 결국 전술한 바와 같이 모두 0 또는 모두 1인 부호어가 된다. 따라서 이러한 부호어를 피하기 위해서 000 또는 111에는 사용하지 않는 나머지 8개의 부호어 중에서 적절한 것을 선택하여 적용한다. 다음은 이와 같이 제안된 부호의 부호화와 복호화 과정을 나타낸 것이다.

• 부호화

- 1) ① 3비트 정보어가 000 혹은 111이 아닌 경우
3비트 정보어 U에 짝수패리티검사비트를 추가하여 4비트 부호어 U'을 만든다.

② 3비트 정보어가 000이거나 111인 경우
각각에 대해서 1 혹은 0이 한 개가 있는 4비트 부호어 U'을 선택하여 사용한다.

- 2) 4비트 부호어 U'에 Hamming (7, 4) 부호의 부호화 과정을 적용하여 7비트 부호어 V를 생성한다.
- 3) 7비트 부호어 V에 짝수패리티검사비트를 추가하여 최종적으로 전송되는 8비트 부호어 V'을 만든다.

• 복호화

1) 확대 Hamming 부호의 복호과정과 동일한 방법으로 4비트 부호어를 구한다.⁽⁵⁾

2) ① 과정 1)에 의해서 얻어진 4비트 부호어가 짝수패리티를 가지는 경우

- i) 4비트 부호어가 0000과 1111일 때는 오류가 발생하였으므로 재전송을 요구한다.
- ii) 4비트 부호어가 0000과 1111이 아닐 때는 짝수패리티검사비트를 제거하여 3비트 정보어를 구한다.

② 과정 1)에 의해서 얻어진 4비트 부호어가 짝수패리티를 가지지 않는 경우

- i) 3비트 정보어 000과 111에 해당할 때는 부호화의 역과정으로 3비트 정보어를 찾는다.
- ii) 3비트 정보어 000과 111에 해당하지 않을 때는 오류가 발생한 것이므로 재전송을 요구한다.

한편, 000과 111의 3비트 정보어에 적용될 수 있는 4비트 부호어는 8개가 존재한다. 이 8개의 4비트 부호어 중 한개의 1 또는 0이 첫번째 비트 혹은 마지막 비트에 존재하는 것을 각각 선택하여 000과 111의 정보어에 적용할 경우에는 줄 길이 및 어떤 비트까지의 1의 갯수에서 0의 갯수를 뺀 값인 최대 축적 디스패리티(maximum running disparity)가 커지므로 저주파성분의 억압능력이 저하된다. 따라서 3비트 정보어에 적용될 수 있는 4비트 부호어는 0100, 0010과 그 역인 1011, 1101이다. 그렇게 제안된 부호의 부호화 과정을 표 1에 나타내었다. 여기서 첫번째 열은 3비트 정보어 U를 나타낸 것이고, 두번째 열은 3비트 정보어 000과 111을 각각 역의 관계에 있는 0100과 1011의 4비트 부호어로 적용한 경우에 대해서 4비트 부호어 U'을 나타낸 것이다. 그리고 세번째 열은 4비트 부호어에 Hamming (7, 4) 부호의 부호화 과정을 적용하여 생성된 7비트 부호어 V를 나타낸 것이고, 마지막으로 네번째 열에는 7비트 부호어에 짝수패리티검사비트를 추가하여 얻은 8비트 부호어 V'을 나

타낸 것이다. 이 경우 8비트 부호어의 역이되는 부호어가 그 부호에 존재하므로 제안된 부호는 투명한 성질을 가진다.

표 1. 제안된 부호의 부호화 과정

Table 1. Coding procedure of the proposed code.

U	U'	V	V'
000	0100	0100110	01001101
001	0011	0011010	00110101
010	0101	0101001	01010011
011	0110	0110011	01100110
100	1001	1001100	10011001
101	1010	1010110	10101100
110	1100	1100101	11001010
111	1011	1011001	10110010

IV. 성능비교 및 고찰

제안된 부호의 성능을 평가하기 위하여 먼저 선로 부호의 여러가지 특성면에서 기존의 부호와 비교하면 다음과 같다. Hamming (7, 4) 부호를 이용한 블럭수가 1인 OP 부호의 경우에는 모두 0이거나 모두 1인 부호어를 포함하고 있기 때문에 디스패리티는 -7에서 7 사이이고, 축적디스패리티는 부호화 과정에 의해 -7에서 6 사이이다. 또한 최대 축적 디스패리티 및 줄 길이는 각각 -9와 12이다.⁽¹⁰⁾ Hamming (7, 4) 부호를 이용한 블럭수가 2인 OP 부호의 경우에는 모두 0이거나 모두 1인 부호어를 포함하고 있지 않으므로 7비트 부호어의 디스패리티는 -1 또는 1이다. 따라서 14비트 부호어의 디스패리티는 -2에서 2 사이이고, 축적 디스패리티는 부호화 과정에 의해 -2에서 0 사이이다. 또한 최대 축적 디스패리티와 줄 길이는 각각 -5와 6이다.⁽¹⁰⁾ 이에 비해 제안된 부호는 여분의 비트로 모든 부호어의 디스패리티가 0이 되도록 하였기 때문에 디스패리티와 축적 디스패리티는 모두 0이다. 그리고 최대 축적 디스패리티 및 줄 길이는 표 1에서 알 수 있듯이 각각 2와 4이다. 한편, 부호율은 블럭수가 1인 OP 부호인 경우에는 0.429이고, 블럭수가 2인 OP 부호인 경우에는 0.5이다. 그리고 제안된 부호인 경우에는 0.375이다. 이것을 정리하여 표 2에 나타내었다.

표 2에서 보면 제안된 부호는 부호율면에서는 기존의 부호보다 다소 떨어지나 디스패리티, 축적 디스패리티, 최대 축적 디스패리티 및 줄 길이에서 더 작은 값을 가져 선로부호의 특성이 더 우수함을 알 수 있다.

표 2. 제안된 부호와 기존의 부호의 특성비교

Table 2. Comparison of the properties among the proposed code and the conventional codes.

	proposed code	OP's code (N=1)	OP's code (N=2)
disparity	0	-7~7	-2~2
running disparity	0	-7~6	-2~0
maximum running disparity	2	-9	-5
runlength	4	12	6
code rate	0.375	0.429	0.5

1. 스펙트럼 특성

일반적으로 블럭부호에 대한 전력 스펙트럼 밀도는 Cariolaro와 Tronca의 알고리즘⁽¹⁵⁾을 이용하여 구한다. 오류제어선로부호는 기존의 블럭부호를 이용한 것이므로 전력 스펙트럼 밀도를 구하기 위해서는 동일한 알고리즘을 적용할 수 있다. 그림 1은 이 알고

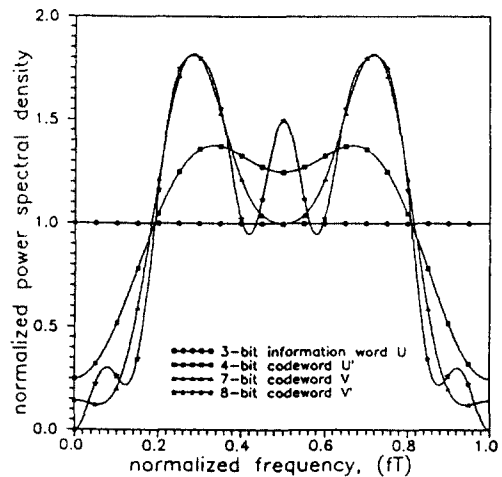


그림 1. 제안된 부호의 부호화에 따른 전력 스펙트럼 밀도
Fig 1. Power spectral density of the proposed code according to coding procedure.

리즘을 이용하여 제안된 부호의 부호화에 따른 전력 스펙트럼 밀도를 나타낸 것이다. 그림 1에서 3비트 정보어에 대한 전력 스펙트럼 밀도는 모든 주파수에 대하여 일정하며, 4비트 부호어와 7비트 부호어의 전력 스펙트럼 밀도는 저주파성분이 다소 억압된 것으로 나타난다. 그리고 모든 부호어의 디스퍼리티가 0인 8비트 부호어의 전력 스펙트럼에서는 직류성분의 제거 및 저주파성분의 억압 특성이 나타남을 알 수 있다.

그림 2는 제안된 부호와 OP 부호의 전력 스펙트럼 밀도를 나타낸 것이다. 제안된 부호의 전력 스펙트럼에서 저주파성분이 가장 많이 억압된 것을 알 수 있으며 그 다음으로 블록수가 2인 OP 부호, 블록수가 1인 OP 부호순으로 저주파성분을 억압한 것으로 나타난다.

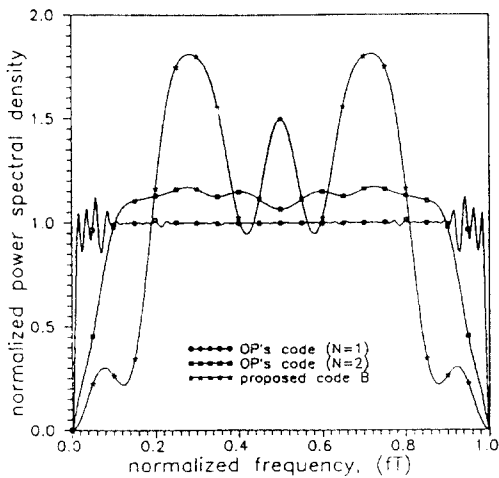


그림 2. 제안된 부호와 OP 부호의 전력 스펙트럼 밀도
Fig 2. Power spectral density of the proposed code and the OP codes.

2. 오류제어특성

부호의 오류제어특성을 구하기 위하여 채널모델에 대한 다음과 같은 두가지 기본적인 가정을 둔다.⁽¹⁶⁾ 첫째, 전송 중에 발생하는 비트오류는 서로 독립이며, 둘째, 잘못 복호된 부호어에서 전체 정보비트 중 오류비트의 비는 평균적으로 1/2이다.

가정에 의해서 채널오류는 이항분포를 가지며 n비트의 부호어에서 j개의 비트에 오류가 발생할 확률 $P(e=j)$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$P(e=j) = {}_n C_j (1-P_e)^{n-j} P_e^j, \quad j=0, 1, \dots, n \quad (1)$$

여기서 P_e 는 채널오류이다.

전송 중 8비트 부호어에서 발생하는 오류비트의 수는 0에서 8 사이이다. 이때, 오류비트의 수가 0 혹은 1일 경우는 오류없이 복호할 수 있고 7 혹은 8일 때는 원래 정보어와 1과 0이 반전된 형태로 복호하게 된다. 따라서 오류검출을 오류비트의 수가 2에서 6 사이일 때 가능하다. 각각의 경우에 대해서 제안된 부호의 오류검출 횟수를 구하면 다음과 같다. 여기서 최소거리가 4인 서로 다른 두개의 8비트 부호어를 V_1, V_2 로 놓자.

1) 오류비트의 수가 2인 경우

V_1 에서 2비트의 오류가 발생하면 부호어의 패러티는 변하지 않고 오류만 발생한 것에 해당하므로 오류를 검출할 수 있다. 따라서 서로 다른 $28 (= {}_8 C_2)$ 개의 2비트 오류를 전부 검출하여 재전송을 요구할 수 있다.

2) 오류비트의 수가 3인 경우

V_2 와 거리를 발생시키는 V_1 의 4비트 중에서 3비트가 오류가 발생하면 V_2 와 최소거리가 1이 되므로 V_2 로 복호된다. 그러나 이렇게 해서 얻어진 V_2 가 사용되지 않는 8개의 8비트 부호어 중 하나라면 오류를 검출할 수 있으므로 총 $56 (= {}_8 C_3)$ 개의 3비트 오류 중 $32 (= {}_4 C_3 \times 8)$ 개를 검출하여 재전송을 요구할 수 있다.

3) 오류비트의 수가 4인 경우

V_2 와 거리를 발생시키는 V_1 의 4비트에서 전부 오류가 발생하면 V_2 와 일치하므로 V_2 로 복호된다. 그러나 이렇게 해서 얻어진 V_2 가 V_1 과 V_1 에서 0과 1이 반전된 부호어를 제외한 6개의 사용되는 부호어일 때 최종적으로 복호가 잘못된 경우이다. 따라서 총 $70 (= {}_8 C_4)$ 개의 4비트 오류 중 $64 (= 70-6)$ 개를 검출하여 재전송을 요구할 수 있다.

4) 오류비트의 수가 5인 경우

V_2 와 거리를 발생시키는 V_1 의 4비트에서 전부 오류가 발생하고 나머지 4비트 중 1비트에서 오류가 발생한 경우 V_2 와 최소거리가 1이 되므로 V_2 로 복호된다. 그러나 이렇게 해서 얻어진 V_2 가 사용되지 않는 8개의 8비트 부호어 중 하나라면 오류를 검출할 수 있으므로 총 $56 (= {}_8 C_5)$ 개의 5비트 오류 중 $32 (= {}_4 C_1$

×8)개를 검출하여 재전송을 요구할 수 있다.

5) 오류비트의 수가 6인 경우

V_1 에서 6비트의 오류가 발생하면 부호어의 패러티는 변하지 않고 오류가 발생한 것에 해당하므로 오류를 검출할 수 있다. 따라서 서로 다른 $28(= {}_8C_6)$ 개의 오류를 전부 검출하여 재전송을 요구할 수 있다.

따라서 채널상에서 오류가 발생할 경우 오류를 검출할 수 있는 확률 P_{det} 는 식 (2)와 같이 되고, 복호화어율 P_{cwe} 는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{det} = P(e=2) + P(e=3) \frac{32}{56} + P(e=4) \frac{64}{70} + P(e=5) \frac{32}{56} + P(e=6) \quad (2)$$

$$P_{cwe} = 1 - \{P(e=0) + P(e=1) + P_{det} \cdot P\} \quad (3)$$

여기서 p 는 전송된 부호어에서 오류를 검출하여 재전송을 하였을 경우 수신측에서 오류없이 수신할 확률로서 다음과 같이 구해진다.

$$p = p(e=0) + P(e=1) + P_{det} \cdot p = \frac{P(e=0) + P(e=1)}{1 - P_{det}} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에 의해 제안된 부호의 복호비트오율 P_{rc} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{rc} = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \left\{ P(e=0) + P(e=1) + P_{det} \cdot \frac{P(e=0) + P(e=1)}{1 - P_{det}} \right\} \right] \quad (5)$$

그림 3은 채널오율에 따른 제안된 부호의 복호비트오율과 기존의 부호의 복호비트오율⁽¹⁶⁾을 비교한 것이다. 그림 3에서 보면 채널오율이 10^{-2} 에서 10^{-5} 인 경우 제안된 부호의 복호비트오율이 기존의 부호의 경우에 비해 약 1/100에서 1/100,000 정도로 줄어들 수 있다. 또한 두 부호 사이의 복호비트오율의 차이는 채널오율이 감소함에 따라 더욱 더 증가되었다.

VI. 결 론

오류정정부호와 선로부호를 결합한 기존의 오류정

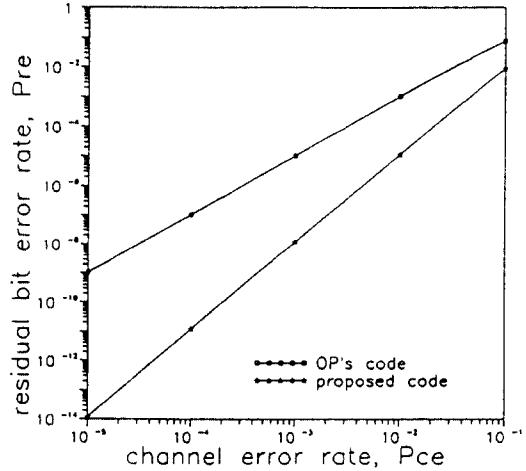


그림 3. 제안된 부호와 기존의 부호의 복호비트오율
Fig 3. Residual bit error rate of the proposed code and the OP's codes.

정선로부호의 경우에는 부호어의 길이가 홀수이므로 디스패리티의 절대값이 항상 1 이상이 된다. 이것은 저주파성분의 억압과 같은 스펙트럼 조절능력에서 저하를 초래했다. 따라서 본 논문에서는 저주파성분의 억압능력을 향상시키기 위해서 확대 Hamming 부호를 이용한 새로운 오류제어선로부호를 제안하고, 그 성능을 기존의 Hamming (7, 4) 부호를 이용한 오류정정선로부호의 성능과 비교, 분석하였다.

그 결과 제안된 부호는 여분의 비트로 부호어의 디스패리티가 0이 되도록 하였으므로 디스패리티, 축적 디스패리티, 최대 축적 디스패리티, 그리고 줄 길이에서 기존의 부호보다 더 작은 값을 가져 전력 스펙트럼에서 직류성분의 제거 및 저주파성분의 억압 특성이 더 우수한 것으로 나타났다. 또한, 제안된 부호의 경우 일반적인 확대 Hamming 부호의 복호화에 의한 오류검출능력 뿐만 아니라 8개의 사용하지 않는 부호에 의한 오류검출능력이 추가되었다. 따라서 일반적인 채널에 해당하는 10^{-2} 에서 10^{-5} 의 채널오율에 대해서 제안된 부호의 복호비트오율은 1비트의 오류만 정정할 수 있는 기존의 부호의 복호비트오율에 비해 약 1/100에서 1/100,000로 나타났다. 또한 그 차이는 채널오율에 감소할수록 더 증가하였다.

이상에서 살펴보았듯이, 본 논문에서는 기존의 부호에 비해 부호율은 다소 떨어지나 스펙트럼 특성 및

오류제어 특성이 훨씬 우수한 오류제어선로부호에 대해서 조사, 연구되었지만 앞으로는 부호율을 개선하기 위하여 제안된 부호를 확장하는 방법에 대한 연구가 필요하리라 사료된다.

“이 논문은 1993년도 교육부 지원 한국 학술진흥재단의 자유공모과제 학술 연구조성비에 의하여 연구 되었음”

참 고 문 헌

1. S. Lin and D. J. Costello, Jr., *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1983.
2. R. E. Blahut, *Theory and Practice of Error Control Codes*, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1983.
3. E. R. Berlekamp, *Algebraic Coding Theory*, McGraw-Hill, New York, 1968.
4. R. G. Gallager, *Information Theory and Reliable Communication*, John Wiley and Sons, New York, 1968.
5. R. Hill, *A First Course in Coding Theory*, Oxford, New York, 1986.
6. A. X. Widmer and P. A. Franszek, “A dc-balanced partitioned-block, 8B/10B transmission code,” *IBM J. Res. Develop.*, vol. 27, no. 5, pp. 440-451, Sep. 1983.
7. H. Kobayashi, “A survey of coding schemes for transmission or recording of digital data,” *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-19, no. 6, pp. 1087-1100, Dec. 1971.
8. D. E. Knuth, “Efficient balanced codes,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-32, no. 1, pp. 51-53, Jan. 1986.
9. R. H. Deng and M. A. Herro, “DC-free coset codes,” *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-34, no. 4, pp. 786-792, Jul. 1988.
10. J. J. O'Reilly and A. Popplewell, “Class of disparity reducing transmission codes with embedded error protection,” *IEE Proc.*, vol. 137, Pt. I, no. 2, pp. 73-77, Apr. 1990.
11. A. Popplewell and J. J. O'Reilly, “Spectral characteristics of a class of dc free error correcting transmiison codes,” *Electronics Letters*, vol. 24, no. 15, pp. 919-920, Jul. 1988.
12. J. J. O'Reilly and A. Popplewell, “A further noto on DC-free coset codes,” *IEEE Inform. Theory*, vol. IT-36, no. 3, May 1990.
13. A. Popplewell and J. J. O'Reilly, “Spectral characterisation and performance evaluation for a new class of error control line codes,” *IEE Proc.*, vol. 137, Pt. I, no. 4, pp. 242-246, Aug. 1990.
14. A. Popplewell and J. J. O'Reilly, “Runlength limited binary error control codes,” *IEE Proc. -I*, vol. 139, no. 3, pp. 349-355, Jun. 1992.
15. G. L. Cariolaro and G. P. Tronca, “Spectra of block coded digital signals,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-22, no. 10, pp. 1555-1564, Oct. 1974.
16. A. Kokkos, J. J. O'Reilly, A. Popplewell, and S. Williams, “Evaluation of a class of error control line codes :an error performance perspective,” *IEE Proc. -I*, vol. 139, no. 2, pp. 128-132, Apr. 1992.

金 貞 九 (Jeong Goo Kim)

정희원

1964년 11월 3일생

1988년 2월 : 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)

1991년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1991년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※주관심분야 : Coding Theory, Digital Signal Transmission, Mobile Communications

李 壽 實 (Soo In Lee)

정희원

1962년 2월 16일생

1985년 2월 : 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)

1989년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1990년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1990년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 위성통신기술연구단 선임연구원

※주관심분야 : 위성통신, 부호이론 등



鄭 倉 基 (Chang Ki Jeong) 준회원

1969년 9월 30일생

1992년 2월 : 경북대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)

1994년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1994년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※주관심분야 : Coding Theory, Digital Communication Systems



朱 彦 暉 (Eon Kyeong Joo) 정회원

1954년 1월 19일생

1976년 : 서울대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)

1984년 : 미국 Ohio State University 전기공학과 졸업(M.S.)

1987년 : 미국 Ohio State University 전기공학과 졸업(Ph.D.)

1976년 ~ 1979년 : 해군 통신전자 기술장교

1979년 ~ 1982년 : 한국과학기술원 연구원

1987년 ~ 현재 : 경북대학교 공과대학 전자공학과 재직(부교수)

※주관심분야 : Digital Communication Systems, Coding and Decoding, Digital Signal Transmission and Reception