

周波數 領域에서 2重符號化 R-S符號의 復號方式에 關한 研究

正會員 全 慶 一* ; 正會員 金 南 旭** ; 正會員 金 容 得**

A Study on Decoding Method of the R-S Code for Double-Encoding System in the Frequency Domain

Kyong Il JUN* ; Nam Wook KIM** ; Yong Deak KIM** *Regular Members*

要 約 本 論 文 에 서 는 誤 謬 訂 正 符 號 로 사 용 하 는 2 重 符 號 의 復 號 方 式 을 기 술 하 였 다. 2 重 부 호 화 방 식 은 두 종 류 의 同 符 號
또 는 단 순 한 부 호 를 사 용 하 여 構 成 한 다. 이 부 호 는 정 정 능 력 이 높 고 복 호 방 식 이 간 단 하 다.

本 論 文 에 서 는 $C_1(32, 28, 5)$, $C_2(32, 26, 7)$ Reed-Solomon 부 호 를 2 重 부 호 화 시 켜 주 파 수 영 역 에 서 오 류 정 정 과 정 을 컴 퓨 터
로 摸 寫 하 였 다. 復 號 알 고 리 즈 ム 을 주 파 수 영 역 에 서 실 현 하 는 과 정 에 서 제 안 된 방 법 이 최 근 개 발 되 고 있 는 디 지 탈 신 호 처 리
기 술 에 적 용 할 수 있 음 을 증 명 하 였 다.

ABSTRACT In this paper, we explain about an outline of the decoding method for double encoding system using the error correcting code. The double encoding system is composed of the two kinds of a same code or a simple code. This code has been a high error correcting capacitance and a simple decoding method. We have been taken formation two-dimension code word of doubly-encoded code using $C_1(32, 28, 5)$ and $C_2(32, 26, 7)$ Reed-Solomon codes, and had computer simulation of the error correcting processes in frequency domain.

On these processes, the newly developed digital signal processing technology such as error correction using Berlekamp-Massey algorithm in frequency domain have been proven.

I. 서 論

情 報 傳 送 시 스템 에 서 는 신 뢰 성 을 높 이 기 위 하 여

* 仁 荷 工 業 專 門 大 學 電 子 科
Dept. of Electronics In Ha Technical Junior College

** 亞 洲 大 學 校 電 子 工 學 科
Dept. of Electronic Engineering Ajou University.
論 文 番 號 : 89-21 (接 受 1989. 1. 23)

誤 謬 訂 正 符 號 가 광 범 위 하 게 사 용 되 고 있 고 최 근 에
는 오 디 오 신 호 와 비 데 오 신 호 를 디 지 탈 화 하 여 기 록
하 는 PCM 방 식 에 도 채 택 이 되 고 있 다.

誤 謬 訂 正 능 력 이 높 은 부 호 를 얻 기 위 한 방 식 으
로 서 두 종 류 의 부 호 를 2 重 으 로 부 호 화 시 켜 새 로
운 한 종 류 의 부 호 를 구 성 하 는 2 重 符 號 化 방 식 이
있 다. 2 重 符 號 化 방 식 의 부 호 를 구 성 하 면 두 단 계

로 나누어서 복호를 할 수 있기 때문에 符號長이 길고 정정능력이 높은 부호를 한번에 복호하여도 복호 알고리즘을 간단화 시킬수 있는 장점을 갖고 있고 連集誤謬(Burst Error) 및 散發誤謬(Random Error) 정정에도 적합하다. 이와같은 부호로서는 積符號, 連接符號, 크리스워드부호, 크로스 인터리브부호, EIAJ 부호 등 여러가지 방식이 발표되어 있다.⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾ 실제로 많이 사용되는 복호방식은 제 1 단 복호에서는 오류검출만을 하고 제 2 단 복호에서는 오류가 검출된 부분을 消失(erasure)로서 정정하는 방법 및 제 1 단, 제 2 단에서도 부가적인 정보는 사용하지 않고 정정능력 한도까지 오류를 정정하는 오류정정부호의 통상복호방식을 사용하는 방법을 들 수가 있다. 이 방식들은 장치화는 비교적 쉽지만 제 1 단의 복호상황에 관한 정보를 제 2 단에서 이용하지 않기 때문에 정보의 손실이 생겨 2중부호화 방식의 능력을 충분히 발휘할 수는 없다.

제 1 단 복호에서 얻은 정보를 이용한 복호법은 Forney에 의하여 제안된 연접복호법⁽²⁾과 Robinson에 의하여 제안된 적부호복호법⁽³⁾ 있지만 복호과정이 매우 복잡하여 특별한 경우를 제외하고는 실용적이지 아니다.

本 論文에서는 2중 부호화 방식의 일반적인 부호화 방법과 복호법에 대하여 설명하고 2重符號의 복호방식을 후리에 연산(Fourier Analysis)을 이용한 주파수 영역에서의 해석방법을 제안하고 外符號로 $C_2(32, 26, 7)$, 內符號로 $C_1(32, 28, 5)$ 의 리드솔로몬 부호를 2중 부호화시키므로서 전체적으로는(1024, 728) R-S부호의 길이를 갖는 부호를 구성하여 주파수 영역에서의 복호 알고리즘을 컴퓨터로 摸寫하여 입증하였고 해석방법을 일반적인 디지털 신호처리 이론을 적용하여 향후 DSP(digital signal processor)의 한 응용분야로의 가능성을 모색하였다.

II. 2重 符號化 理論

정보전송 시스템의 오류정정을 하기 위한 2중 부호화 방식은 그림 1 과 같이 두개의 線型符號를

사용하며 內符號 C_1 부호는 최소거리 d_1 의 (n, k) 선형부호이고 t 중 이하의 오류를 정정하고 ρ 重 ($t+p+1 < d_1$) 이하의 오류를 검출할 수 있다. 外符號 C_2 는 최소거리 d_2 의 (N, K) 선형부호이며 부호장 N 은 임의의 整數 m 에 대하여 $N=mk$ 을 만족하도록 한다.

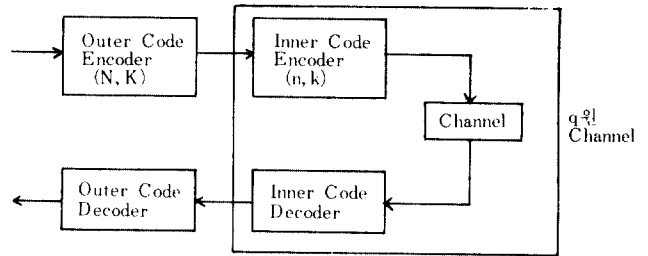


그림 1. 2중 부호화 방식
A concatenated coding System.

通信路는 보통 2원 통신로이다. 즉 $q=2$, 내부호 q 원 (n, k) 부호는 q 개의 부호어를 갖는다. 내부호의 부호기에 K 개의 정보 심볼이 입력되면 내부호의 복호기에서 오류가 발생하였을지도 모르는 복호화된 k 개의 심볼이 출력된다. 내부호의 q 개의 부호어는 각각 외부호의 한개 심볼로 사용된다.

이러한 의미에서 내부호의 부호기, 통신로, 복호기를 합하여 하나의 q 원 통신로로 간주하고 수퍼 통신로라고 한다. 같은 방법으로 외부호의 부호기와 내부호의 부호기를 묶어서 수퍼 부호기라고 하고 내부호의 복호기와 외부호의 복호기를 묶어서 수퍼 복호기라고 한다. 결과로 생기는 鎖狀符號는 Kk 개의 q 원 정보심볼로부터 생성된 符號長이 Nn 인 부호 즉 q 원 (Nn, Kk) 부호로 간주될 수 있다. 쇄상부호의 부호율은 $R_c = R_r = (K/N)(k/n)$ 로 외부호와 내부호의 부호율의 곱이 된다. 외부호에는 Reed-Solomon 부호가 많이 사용되는데 이것은 Reed-Solomon 부호가 최대거리분리 부호이기도 하고 또한 실현하기가 용이하기 때문이다. 내부호에는 블록부호와 길쌈부호를 모두 사용할 수 있다. 적절한 외부호와 내부호를 선택함으로써 쇄상이 아닌 부호에 비해서 복잡도

가 적은 부호기와 높은 부호화 이득을 실현할 수 있다. 2중 부호화의 일반적인 알고리즘은 K 비트의 통보를 외부호기 C₂에 의해 부호화하여 符號長 N비트의 부호어를 k비트로 분할하여 세그먼트라고 부르며 기억장치에 기억시킨다. 내부호기 C₁에서는 기억장치로부터 미리 정하여진 순서에 따라서 취득하여 각 세그먼트를 정보비트로 하여 내부호기 C₁으로 부호화하며 프레임이라고 부르고 그림 2와 같은 m개의 프레임으로 구성된 블록을 순서에 따라 통신로로 송신한다.

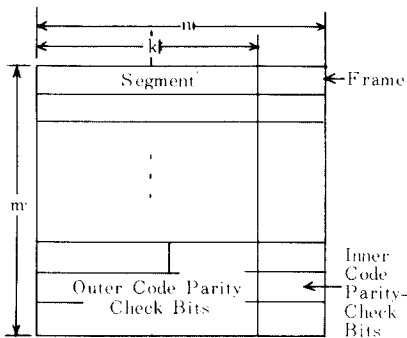


그림 2. 블록포맷
Block format.

부호는 우선 C₁부호(제 1 단부호)을 행하고 그 결과를 기억장치에 기억하며 C₂ 부호기는 적당한 순서에 따라 이신호를 취득하여 제 2 단 부호를 한다. 이 경우 C₁ 부호 상황에 관한 어떠한 정보도 함께 기억되고 C₂ 부호에서는 부가적인 정보를 사용한다. 기억장치에 기억시키거나 취득하는 방법은 연접부호와 적부호에서 사용하는 완전 프로그램형과 EIAJ 부호에서 사용하는 중첩형이 있다.⁽⁶⁾ 완전 프로그램형에서는 열방향에 C₁으로 부호화되고 행방향에 C₂로 부호화하며 중첩형에서는 사선방향에 C₂로 부호화하고 각 행이 C₁으로 부호화된다. 일반적으로 C₂는 바이트 단위로 오류검출 및 정정을 행하며, C₁, C₂부호의 최소거리를 각각 d₁, d₂, 오류정정 능력을 t₁, t₂로 표기하면 오류정정능력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} t_1 &= \lfloor (d_1 - 1) / 2 \rfloor \\ t_2 &= \lfloor (d_2 - 1) / 2 \rfloor \end{aligned} \quad (1)$$

단 $\lfloor X \rfloor$ 는 X이하의 最大整數이다.

Ⅲ. R-S(Reed-Solomon) 符號理論⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾

R-S 부호는 非二元化 BCH 부호이므로 부호의 구성원소는 심볼로 표시된다. 일반적으로 GF(2^m)상의 원소로 구성되는 t개의 오류정정 R-S 부호는 각 원소를 심볼로 표시하면 각 심볼은 m비트로 이루어지므로 부호의 길이는 n=m(2^m-1)이고 정보의 길이 k=m(2^m-1-2t)인 二元(n, k)선형부호를 구성하고 t심볼 이하의 오류 형태를 정정할 수 있는 능력을 갖게 된다.

R-S 부호를 복호하는데에는 Berlekamp의 반복 알고리즘 등 여러가지가 있지만 이원 BCH 부호와 다른점은 오류위치에서의 오류값을 계산하는 것이 문제이다. GF(2^m)상에서 RS 부호는 다음과 같은 매개변수를 갖는다.

- . 심볼當 비트數 : m 비트
- . 符號長 : n=q-1=2^m-1
- . 情報長 : k=n-2t
- . 最小距里 : d_{min}=2t+1
- . 패리티 檢査 심볼 數 : 2t=n-k
- . 誤謬訂正數 : t

이원체 GF(2)상의 m차 原始多項式 p(x)의 근을 α라고 하면 GF(2)의 확대체 GF(2^m)상의 원소로 표시할 수 있는 R-S 부호를 구성할 수 있다. t개의 오류를 정정할 수 있는 R-S 부호의 生性 多項式 g(x)는 다음식과 같다.

$$g(x) = \prod_{i=0}^{2t-1} (x + \alpha^i) \quad (2)$$

생성 다항식에 의하여 생성된 부호는 GF(2^m)상의 m(2^m-1), m(2^m-1-2t)의 블록부호가 된다. 주어진 k개 심볼의 정보 다항식 d(x), 패리티 검사 다항식 p(x), 부호다항식 c(x)을 각각

$$\begin{aligned} d(x) &= d_{k-1}x^{n-1} + d_{k-2}x^{n-2} + \dots + d_0x^{n-k} \\ &= \sum_{i=0}^{k-1} d_{k-1-i} x^{n-i} \end{aligned} \quad (3)$$

$$p(x) = p_{r-1}x^{r-1} + p_{r-2}x^{r-2} + \dots + p_0$$

$$= \sum_{i=1}^{n-k} p_{r-i} x^{r-i} \quad (4)$$

$$c(x) = c_{n-1}x^{n-1} + c_{n-2}x^{n-2} + \dots + c_1x + c_0$$

$$= d_{k-1}x^{n-1} + d_{k-2}x^{n-2} + \dots + d_0x^{n-k} + p_{r-1}x^{r-1} + p_{r-2}x^{r-2} + \dots + p_0$$

단 $r = n - k$

라고 하면 부호어의 k 개 심볼 $c_{n-1}, c_{n-2}, \dots, c_{n-k-1}, c_{n-k}$ 는 정보어 $d_{k-1}, d_{k-2}, \dots, d_1, d_0$ 와 같고 부호어의 나머지 $c_{n-k-1}, c_{n-k-2}, \dots, c_0$ 는 패리티로서 $n-k$ 차의 생성 다항식 $g(x)$ 에 의해서 구해지며 그 값은 $x^{n-k}d(x)/g(x)$ 의 나머지와 같으므로 부호 다항식은 다음식과 같다.

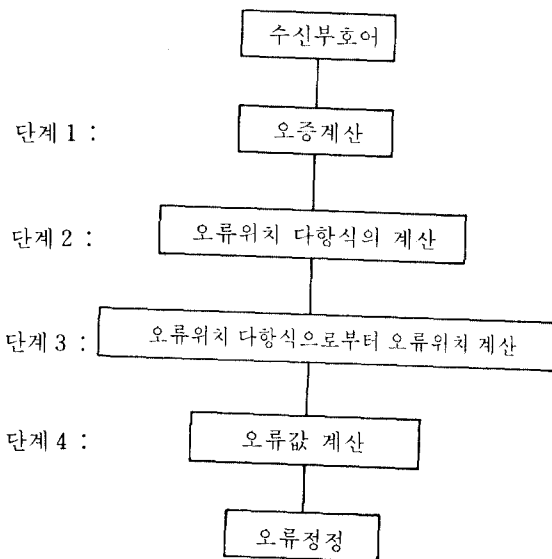
$$d(x) = q(x)g(x) + r(x)$$

$$r(x) = -p(x)$$

$$c(x) = d(x) + p(x) = q(x)g(x)$$

$$= \sum_{i=n-k}^{n-1} c_i x^i + \sum_{i=0}^{n-k-1} c_i x^i \quad (6)$$

R-S 부호의 일반적인 복호 알고리즘은 다음 순서도와 같다.



오류위치 다항식 계산은 B/M(Berlekamp/Massey) 알고리즘을 오류 위치 계산은 Chien Search 방법을 이용한다. 오류정정은 단계 4에서 얻어진 오류값을 오류 위치에서 버퍼에 저장되어 있던 오류 값에 MOD2 연산으로 오류정정을 한다. 전송될 부호어 $c(x)$, 수신된 부호어 $r(x)$, 전송로상에서 발생한 오류형태 $e(x)$ 는 각각 다음식과 같이 표시된다.

$$c(x) = c_{n-1}x^{n-1} + c_{n-2}x^{n-2} + \dots + c_1x + c_0 \quad (7)$$

$$r(x) = r_{n-1}x^{n-1} + r_{n-2}x^{n-2} + \dots + r_1x + r_0 \quad (8)$$

$$e(x) = c(x) + r(x) \quad (9)$$

오류형태 $e(x)$ 는 0이 아닌 값과 위치로서 표현되며 오류값은 y_i , 오류위치는 x_i 로 표현한다. 만약 오류다항식 $e(x)$ 가 ν 개의 0이 아닌 요소를 가지고 있다면 P 개의 쌍 (x_i, y_i) 이 오류를 나타내는데 필요하다.

IV. 2重符號의 構成 및 復號方式

IV-1. 2重符號의 構成

本論文에서는 III.절에서 論한 R-S부호 이론을 사용하여 유한체 $GF(2^8)$ 상에서 $C_1(32, 28, 5)$, $C_2(32, 26, 7)$ R-S부호를 사용하여 그림 3과 같이 2重 부호를 구성하였다.

IV-1. 內符號의 構成

內符號로서 $GF(2^8)$ 상의 $C_1(32, 28, 5)$ R-S부호를 사용하였으며 32심볼의 符號長, 28심볼의 情報長 및 最小距離 5를 가지므로 최대 2심볼의 산발 오류를 정정할 수 있는 능력을 갖는다.

정보 다항식 $d_{c1}(x)$, 패리티검사다항식 $P_{c1}(x)$, 원시기약 다항식 $f(x)$ 및 생성다항식 $g_{c1}(x)$ 을 각각 다음식과 같이 표시한다.

$$d_{c1}(x) = \sum_{i=0}^{28} d_{28-i} x^{32-i} \quad (10)$$

$$p_{c1}(x) = \sum_{i=1}^4 p_{4-i} x^{4-i} \quad (11)$$

$$c_{c1}(x) = \sum_{i=1}^{32} C_{32-i} x^{32-i} \quad (12)$$

$$f(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 \quad (13)$$

$$g_{c1}(x) = \prod_{\lambda=0}^3 (x + \alpha^\lambda) = x^4 + \alpha^{75} x^3 + \alpha^{249} x^2 + \alpha^{78} x + \alpha^6 \quad (14)$$

단 α 는 $f(x)$ 의 근으로
 $\alpha = (000000\alpha 0)$ 이다.

2) 外符號의 構成

外符號로 CF(2^8)상의 $C_2(32, 26, 7)$ R-S 부호를 사용하였으며 이 부호는 32심볼의 符號長, 26심볼의 情報長, 最小距里 7를 가지고 있으므로 최대 3심볼의 산발오류를 정정할 수 있는 능력을 갖으며 정보다항식 $d_{c2}(x)$ 를 식(15)와 식(16)의 두 부분으로 나누어 식 (6)을 이용하여 두개의 (19, 16, 7) 하였으며 이 때의 생성다항식 및 부호다항식은 식 (17), (18)과 식 (19), (20)과 같다.

$$d_{c2}^1(x) = d_{25}x^{18} + d_{24}x^{17} + \dots + d_{14}x^7 + d_{13}x^6 \quad (15)$$

$$d_{c2}^2(x) = d_0x^{18} + d_{11}x^{17} + \dots + d_{11}x^7 + d_{12}x^6 \quad (16)$$

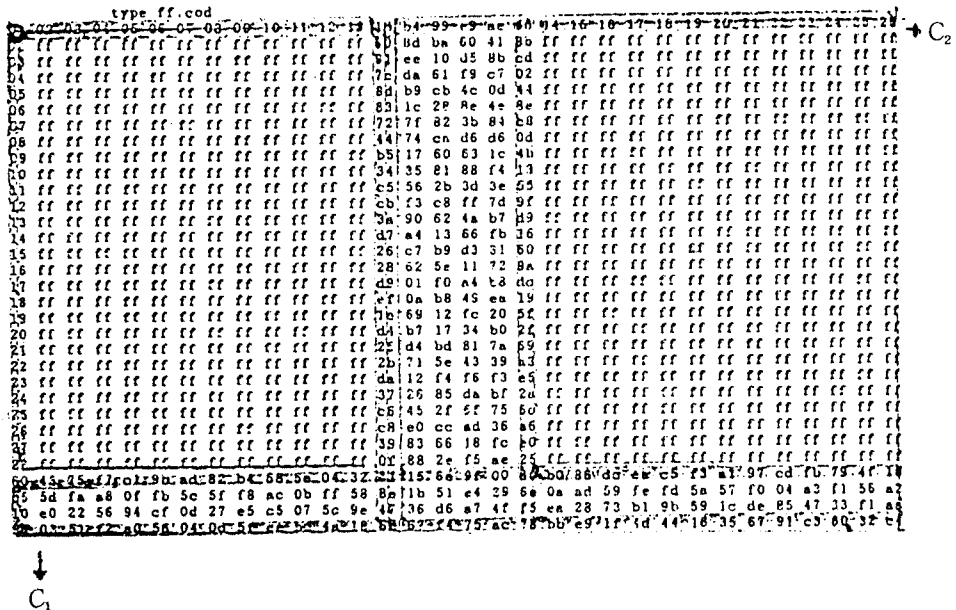


그림 3. 2重 부호의 構成
 Configuration of the concatenated code

이들 식을 (6)식에 대입하여 C_1 부호화를 실현하면 그림3의 C_1 부호에 해당하는 부호를 구성할 수 있고 패리티 검사심볼이 부호다항식의 하위차수의 4항에 위치하게 된다.

$$g_{c2}^1(x) = \prod_{i=0}^5 (x + \alpha^i) = x^6 + \alpha^{186}x^5 + x^4 + \alpha^{134}x^3 + \alpha^5x^2 + \alpha^{176}x + \alpha^{15} \quad (17)$$

$$g_{c_2}^{(2)}(x) = \prod_{i=0}^5 (x + \alpha^{-i}) \quad (18)$$

$$= x^6 + \alpha^{161}x^5 + \alpha^{245}x^4 + \alpha^{119}x^3 + \alpha^{240}x^2 + \alpha^{151}x + \alpha^{240}$$

$$C_{c_2}^{(1)}(x) = d_{c_2}^{(1)}(x) - r^{(1)}(x) = d_{c_2}^{(1)}(x) + P_{c_2}^{(1)}(x) \quad (19)$$

$$C_{c_2}^{(2)}(x) = d_{c_2}^{(2)}(x) - r^{(2)}(x) = d_{c_2}^{(2)}(x) + P_{c_2}^{(2)}(x) \quad (20)$$

이상에서 외부호의 패리티검사 심볼은 식(19)와 식(20)의 패리티검사심볼을 선형 결합시키면 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$P_1 = P_1^{(1)} + P_5^{(2)} \quad (21)$$

그러므로 외부호 C_2 의 부호다항식은 다음식과 같이 표시된다.

$$C_{c_2}(x) = d_{25}x^{31} + d_{24}x^{30} + \dots + d_{13}x^{19} + p_5x^{18} + p_4x^{17} + \dots + p_0x^{13} + d_{12}x^{12} + \dots + d_1x + d_0 \quad (22)$$

위식에 나타난 것과 같이 외부호는 부호다항식의 13차 항에서부터 18차 항에 패리티검사심볼이 위치하게 되어 그림3의 C_2 부호에 해당하는 부호가 구성된다.

IV-2. 復號方式

1) 주파수영역에서의 복호이론

디지털 신호처리는 후리에변환(Fourier Transform)을 이용한 주파수 영역내에서의 해석이 가능하므로^{(8) (9)}, 本論文에서는 이를 이용하여 2重 부호의 복호방식을 실현하였다.

有限體(Galois Field)내에서의 후리에 변환 및 역변환을 다음식과 같이 定義한다.

標數(characteristic) p 의 GF(q)상에서 벡터

v_i 와 스펙트럼 V_j 는

$$V_j = \sum_{i=0}^{n-1} \alpha^{ij} v_i \quad (23)$$

$$v_i = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} \alpha^{-ij} V_j \quad (24)$$

의 관계식을 만족하며 이때 n 은 $n \bmod p$ 의 정수이다.

재생정보 벡터 v_i 는

$$v_i = c_i + e_i, \quad i=0, 1, \dots, n-1 \quad (25)$$

와 같이 부호벡터 c 와 에러벡터 e 의 합으로 표시되므로 誤症은 다음식으로 표시할 수 있다.

$$S_j = \sum_{i=0}^{n-1} \alpha^{i(j-1)} v_i = v(\alpha^{j-1}) \quad (26)$$

$j=1, 2, \dots, 2t$

위 식과 같이 誤症은 v 의 후리에 변환의 $2t$ 성분으로 계산된다.

$v = c + e$ 의 식을 역시 후리에 변환하면

$V_j = C_j + E_j, \quad j=0, 1, 2, \dots, n-1$ 을 구할 수 있으며 오증은 이 스펙트럼의 0부터 $2t-1$ 의 $2t$ 성분으로 표시된다. 또한 2重부호의 구조에서 패리티 주파수는 제로의 성분을 갖고 있으므로 다음 식이 성립된다.

$$C_j = 0 \quad j=0, 1, \dots, 2t-1$$

$$S_j = V_{j-1} = E_{j-1} \quad j=1, 2, \dots, 2t \quad (27)$$

誤症을 통해 오류패턴의 총 n 개의 주파수성분중 $2t$ 성분을 알 수 있지만 $2t$ 성분만으로는 완전한 오류패턴을 구할 수 없으므로 나머지 성분들을 구하여야 한다. 이 값을 구하기 위하여 다음식과 같이 오류 위치가 α^{jk} 인 다항식 $\Lambda(x)$ 를 가정한다.

$$\Lambda(x) = \prod_{k=1}^{\nu} (1 - x\alpha^{jk}) \quad \nu \leq t \quad (28)$$

위식에서 i 가 에러위치이면 $\Lambda(\alpha^{-1})$ 는 항상 0이고 따라서 시간영역내에서도 $\Lambda(x)$ 는 $e_i \neq 0$ 인 곳에서 항상 $\lambda_i = 0$ 이므로 모든 i 에 대해서 $\lambda_i e_i = 0$ 의 관계가 성립하게 된다.

여기에 주파수영역에서의 컨벌루션 정리(convolution theorem)를 적용하면 다음 식을 구할 수 있다.

$$\sum_{j=0}^{n-1} \Lambda_j E_{k-j} = 0, \quad k=0, 1, \dots, n-1 \quad (29)$$

그런데 $\Lambda(x)$ 는 t 의 차수를 넘지 못하므로 $j > t$ 인 Λ_j 는 0이고 식(29)는 식(30)으로 표시할 수 있다.

$$\sum_{j=0}^t \Lambda_j E_{k-j} = 0, \quad k=0, 1, \dots, n-1 \quad (30)$$

식(30)에 $\Lambda(x)$ 의 초기 조건으로 $\Lambda_0=1$ 을 적용하면 식(31)을 얻을 수 있으며 이 식은 $n-t$ 개의 미지수를 포함하는 n 개의 식으로 이루어져 있는데 $\Lambda(x)$ 의 계수와 E 의 $n-2t$ 성분을 구함으로서 식(32)와 함께 복호를 완료하게 된다.

$$E_k = - \sum_{j=1}^t \Lambda_j E_{k-j}, \quad k=0, 1, \dots, n-1 \quad (31)$$

$$S_k = - \sum_{j=1}^t \Lambda_j S_{k-j}, \quad k=0, 1, \dots, n-1 \quad (32)$$

A 를 완전히 구하기 위해 B/M알고리즘을 사용하며 나머지 S 성분들은 반복법을 사용하여 구할 수 있는데 이에 대한 복호과정은 그림 4에 나타내었다.

2) 內符號 C_1 및 外符號 C_2 의 복호방식

本論文中에서 사용한 내부호 및 외부호의 복호방식은 (IV-2)에서 論한 후리에 연산을 이용하여 C언어로 simulation하였다.

C_1 및 C_2 부호의 복호방식을 그림5-a, b, c에 나타내었고 C_1 및 C_2 부호를 사용하기 위하여 28×26 심볼, 즉 총 728심볼의 정보군을 임의의 16진값 ff로서 구성한 후 심볼당 오류률 0.05로서 재생정보군을 구성한 후 C_1 및 C_2 의 복호결과를 그림6

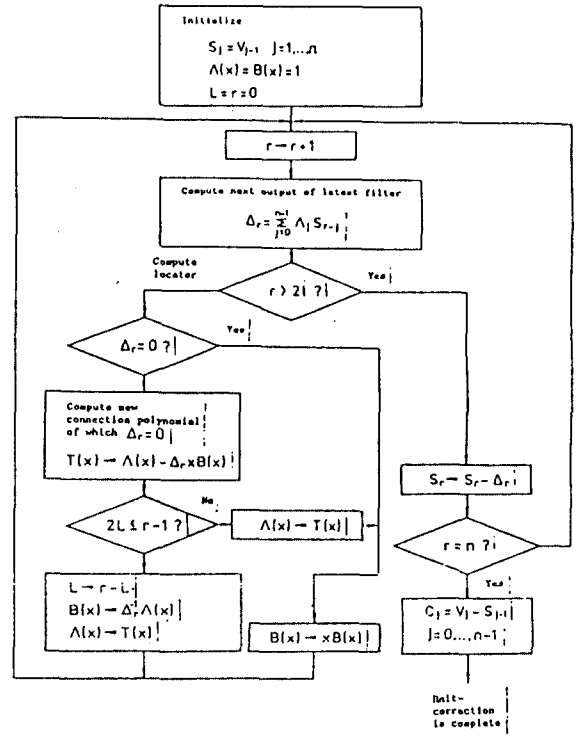


그림 4. 주파수영역에서의 복호과정
The decoding algorithm in the frequency domain.

의 a-1, 2, 3에 나타내었고 각 부호에 대한 복호성능을 그림6의 b에 나타내었다.

$N(E)=0$	No correction	$F_0=0, F_1=0, F_2=0$
$N(E)=1$	1_8 correction	$F_0=1, F_1=0, F_2=0$
$N(E)=2$	2_8 correction	$F_0=1, F_1=1, F_2=0$
$N(E)>2$	No correction	$F_0=1, F_1=1, F_2=1$

where $N(E)$ is number of detection error.

그림 5-a. C_1 부호의 복호방식
The decoding procedure of the C_1 code.

$N(E)=0$ No correction
 $N(E)=1$ 1s correction
 $N(E)=2$ 2s correction
 $N(E)>2$ $N(F1)=0$ No coorection, $F=F0$
 $N(F1)=1$ or 2 N erasure+2error correction if fails then $F=F0$
 $N(F1)=3$ or 4 N erasure+1 error correction if fails then $F=F0$
 $N(F1)=5$ N erasure correction if fails then $F=F0$
 $N(F1)>5, N(F2)=0$ No correction, $F=F0$
 $N(F1)>5, N(F2)=1$ or 2 N erasure+2 error correction if fails then $F=F1$
 $N(F1)>5, N(F2)=3$ N erasure+1 error correction if fails then $F=F1$
 $N(F1)>5, N(F2)=4$ or 5 N erasure correction if fails then $F=F1$
 $N(F1)=6, N(F2)=6$ N erasure correction
 $N(F2)>6$ No correction, $F=F1$

where $N(F1)$, $N(F2)$ and N are number of F1 or F2 flags.
 F is interpolation flag.

그림 5-b. C_2 부호의 복호방식
 The decoding procedure of the C_2 code.

```

C:\JUN\SAM>type ff.err1
01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 1d b4 99 e9 ae 50 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26
02 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
03 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
04 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
05 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
06 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
07 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
08 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
09 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
10 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
11 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
12 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
13 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
14 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
15 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
16 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
17 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
18 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
19 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
20 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
21 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
22 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
23 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
24 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
25 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
26 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
27 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
28 ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff ff
80 43 75 f7 c1 9b ad 82 b4 68 5e 04 32 41 15 6e 9f 00 d0 b0 86 do ea c5 f3 al 97 cd f6 79 4f ff
c5 5d fa a8 0f fb 5c 5f f8 ac 0b ff 58 8e 1b 51 e4 29 6e 0a ad 59 fe fd 5a 57 f0 04 a3 f1 56 a2
10 e0 22 56 94 cf 0d 27 e5 c5 07 3c 9e 47 36 d6 a7 4f f5 ff 28 73 b1 9b 59 1c de 85 47 33 f1 aa
9d 03 51 f2 a0 56 04 0d 5f ee bc 4a 18 6b 67 f4 75 ac 78 bb e9 1f 4d 44 16 35 67 91 c3 60 32 c4
    
```

a-1. 심볼당 오류률 0.05의 정보군

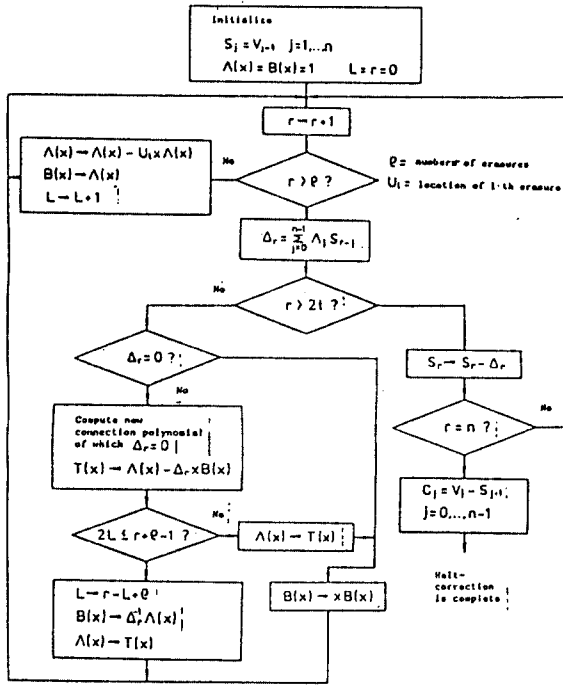
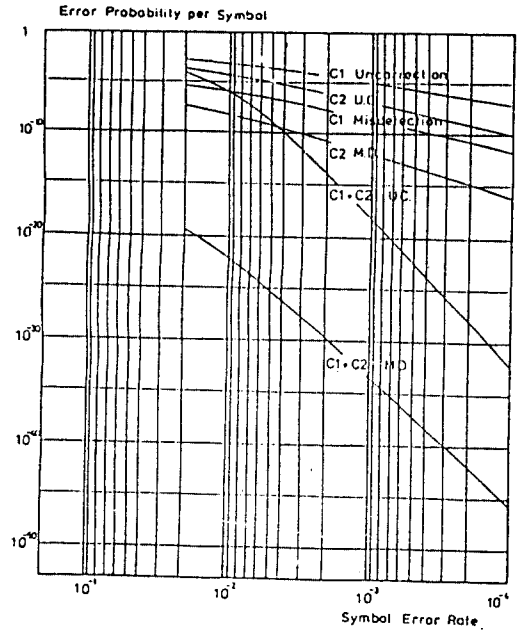


그림 5-c. 주파수영역에서 오류와 소실오류를 포함하는 부호의 복호 방식
The decoding procedure of the code contained error and erasure error in the frequency domain.

V. 결 론

2重 符號化 방식은 오류정정 부호를 2중으로 부호화시켜 誤謬訂正能力이 높은 부호를 얻을 수 있고 2단계로 나누어서 복호를 할 수 있기 때문에 同符號長, 同訂正能力을 갖는 부호를 한번에 복호가 가능하고 복호 알고리즘도 간단하게 되며 散發誤謬와 連集誤謬의 정정에 적합하다.

本 論文에서는 전송정보의 신뢰성 향상을 위한 오류정정 부호를 구성하기 위한 2重 符號化 방식의 부호화 및 복호이론을 설명하고 유한체 GF(2⁸)상에서 C₁(32, 28, 5), C₂(32, 26, 7) R-S 부호를 2重 부호화하여 부호화 및 복호 알고리즘을 후리에 변환을 이용한 주파수 영역에서 해석방법을 통하여 실현하였다.



b. 각 부호에 대한 복호 성능

그림 6. 복호결과
The decoding result.

본 논문에서 제시된 오류정정 알고리즘을 확인하기 위하여 임의의 비율로 오류를 발생하여 실행한 결과 심볼당 오류를 0.05까지 복호가 가능함을 알 수 있었고 또한 복호 알고리즘을 주파수영역에서 실현하였으므로 현재 많은 연구가 진행중인 디지털 신호처리 이론 및 이의 응용을 적용시킬 수 있는 가능성을 제시하였다. 실제적용을 위해서는 고속의 처리를 위해 알고리즘을 하드웨어로 실현하여하나 본 논문에서 선정된 부호의 符號長이 길어서 방대한 크기의 하드웨어를 요구하게 되며 현재 이에 대한 전용 LSI가 시판이 되고 있으므로 본 논문에서는 생략하고 단지 알고리즘에 대한 이론 정립과 부호의 평가에 치중하였다.

參 考 文 獻

1. 大久保, 金井, "誤謬訂正符號의 交錯法에 對하여,"(日本)

電子通信學會論文誌(A), J64-A,5, pp. 363-370. May 1981.

2. G.D.Forney, "Concatenated codes," MIT press, Cambridge. MA 1966.

3. S.M.Reddy and J.P.Robbins "Random error and burst error corection by iterated codes," IEEE. Trans. Inf. Theory, IT-18, pp. 182-185. Jan. 1972.

4. 中島, 土井, 福田, 李賀, "디지털 오디오," 技術入門, 社, 1979.

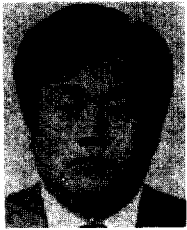
5. D.Chase, "A class of algorithm for decoding block codes with channel measurement information," IEEE. Trans., Inf. Theory, TI-18, 1, pp. 170-182, Jan. 1972.

6. 이만영, "부호이론," 희중당, 1985.

7. 전경일, 김남옥, 김용득, "2중부호화 단축 R-S부호의 복호방식에 관한 연구," 전자공학회 회로 및 시스템연구회 발표논문집, 제12권, 제1호, pp. 21-23, 1988.

8. R.E.Blahut, "Theory and practice of error control codes," Addison Wesley, 1983.

9. G.C.Clark, J.B.Cain, "Error-correction coding for digital communication," Plenum Press, 1981.



全 慶 一(Kyong Il JUN) 正會員
1945年12月23日生
1978年2月: 仁荷大學校 工科學 電子工學科 卒業
1980年9月: 仁荷大學校 大學院 電子工學科 工學碩士
1985年3月~現在: 亞洲大學校 大學院 電子工學科 博士課程
1980年9月~現在: 仁荷工業專門大學 電子科 副教授



金 南 旭(Nam Wook KIM) 正會員
1964年5月12日生
1987年2月: 亞洲大學校 電子工學科 卒業
1989年2月: 亞洲大學校 大學院 電子工學科 卒業, 專攻: 디지털 시스템應用.
現在: 大宇電子技術研究所 研究開發部 勤務
主關心分野: 디지털 AV 시스템.



金 容 得(Yong Deak KIM) 正會員
1946年1月30日生
1971年2月: 延世大學校 電子工學科 卒業
1973年2月: 延世大學校 大學院 電子工學科 工學碩士
1978年8月: 延世大學校 大學院 電子工學科 工學博士
1973年3月-1974年2月: 延世大學校 電子工學科 講師

1979年8月-1980年9月: 美國Stanford大學校 研究教授
1981年1月-1981年6月: 電子技術研究所 委囑 研究員
1981年4月-1984年11月: 三星電子(株) 委囑 研究員
1982年10月-1987年7月: 新韓電算(株) 技術顧問
1984年11月~現在: 東原電子(株) 顧問教授
1978年8月~現在: 亞洲大學校 電子工學科 教授