

유한체 푸리에 변환을 이용한 EUROFIX RS Code 설계에 관한 연구

김민지* · 김민정** · 정세모*** · 조형래****

*한국해양대학교 전파공학과 대학원, **한국해양대학교 산업기술연구소 전임연구원,
한국해양대학교 운항시스템공학부 명예교수, *한국해양대학교 전파·정보통신공학부 교수

A Study on EUROFIX Reed Solomon Code Design Using Finite Galois Field Fourier Transformation

Min-Jee Kim* · Min-Jung Kim** · Se-Mo Chung*** · Hyung-Rae Cho****

*Dept. of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime University

**Research Institute of Industry Technology, Korea Maritime University

***Dept of Ship Operation System Engineering, Korea Maritime University

****Dept. of Radio and Information Communication Engineering, Korea Maritime University

요약 : 본 논문은 EUROFIX 시스템에 적용하기 위한 Reed-Solomon 코딩에 대해서 다룬다. EUROFIX는 최근에 위성시스템의 비상수단으로서 인식되는 LORAN-C 시스템을 이용하여 DGNSS(Differential Global Navigation Satellite Systems) 정보를 전송하는 통합위치결정 시스템으로서, LORAN-C 신호 펄스열들의 펄스 위치 변조에 의한 LORAN-C 전송을 통해서 데이터 통신을 한다. 또한 통신 시스템에서 처리되는 방대한 양의 데이터에 대한 오류를 제어하기 위한 수단으로 오류 정정 부호나 정정 알고리즘이 대두되었으며, 실제로 중요한 적용요소가 되고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 EUROFIX 정보전송의 부호화과정에서의 오류정정을 위해서 유한체 푸리에 변환을 이용한 Reed-Solomon 코드의 부호화 및 복호화에 대해서 연구하였다. 시뮬레이션을 통해서, EUROFIX 정보전송의 오류정정에 효과적인 것을 알 수 있었다.

핵심용어 : EUROFIX, LORAN-C, Reed Solomon Code, 유한체 푸리에 변환

Abstract : This paper deals with Reed-Solomon Coding for EUROFIX system. EUROFIX is an integrated navigation and communication system, which combines Differential GNSS and Loran-C. EUROFIX transmits DGNSS(Differential Global Navigation Satellite Systems) data by pulse position modulation of Loran-C pulses. Loran-C system is regarded as a satellite backup system in recent. And now, it is important to detect and correct much errors in communication systems. Error corrections or correction algorithm is actively studied nowadays because of this. In this paper, we study and design encoder and decoder of Reed Solomon Code using Finite Galois Field Fourier Transformation for error corrections in EUROFIX data transmission. Through extensive simulation, the designed Reed Solomon code is shown to be effective for error correction in EUROFIX data transmission.

Key Words : EUROFIX, LORAN-C, Reed Solomon Code, Finite Galois Field Fourier Transformation

1. 서 론

통신 상에서 여러 외부환경의 영향으로 송, 수신 데이터 간의 오류가 발생할 수 있다. 따라서 이러한 여러 가지 오류를 제어하기 위한 수단으로 오류 정정 부호나 정정 알고리즘을 사용하고 있다. 특히, 오류 정정 부호는 해상분야 뿐만 아니라 선박의 안전항해, 지리정보시스템(GIS)분야, 우주항법분야 등 유용하게 사용되고 있다. 본 논문에서는 EUROFIX는 최근에 위성시스템의 비상수단으로서 인식되

는 Loran-C 시스템을 이용하여 DGNSS(Differential Global Navigation Satellite Systems) 정보를 전송하는 통합위치결정 시스템을 말한다(Willigen, 1989b). 이러한 오류 정정 부호 중 Reed-Solomon 코딩을 EUROFIX에 적용하는 연구에 대해서 기술하였다. 따라서, EUROFIX 정보전송의 부호화과정에서 Reed-Solomon 코드의 부호화 및 복호화에 대한 연구이다. 본 논문의 제 2장에서 EUROFIX 시스템과 Reed-Solomon (RS) code에 대해 기술하였으며, 제 3장에서는 EUROFIX 시스템에서 RS Code의 부호화 및 복호화 과정을 이론적으로 전개하고 제 4장에서는 EUROFIX 시스

* 대표저자 : 김민지, kminjee@hanmail.net 051)410-4420

** 종신회원, violet313@hanmail.net 051)410-4787

*** 종신회원, chungsm@mail.hhu.ac.kr 051)410-4232

**** 정회원, hrcho@hhu.ac.kr 051)410-4421

템에서 RS Code를 설계하여 시뮬레이션 하였다. 그 결과 설계된 복호기는 성능을 확인하였고 제 5장에서 본 연구의 결과로부터 얻어진 결론을 정리하였다.

2. EUROFIX 시스템과 RS Code

2.1 Loran-C에 기초한 EUROFIX 데이터링크 모델

EUROFIX는 DGNSS와 Loran-C를 기초로 하는 통합위 치결정 시스템으로서, LORAN-C 신호 펄스열들의 펄스 위치 변조에 의한 LORAN-C 전송을 통해서 데이터 통신을 한다. EUROFIX는 DGNSS 정보 외에 완전한 LF 무선 항 해 시스템을 제공하는데 이 시스템은 이 분야에 있어서 다른 모든 서비스와 자체 서비스를 구분한다. 일반적인 데이터링크 모델과 파라미터들은 Fig. 1과 같다.

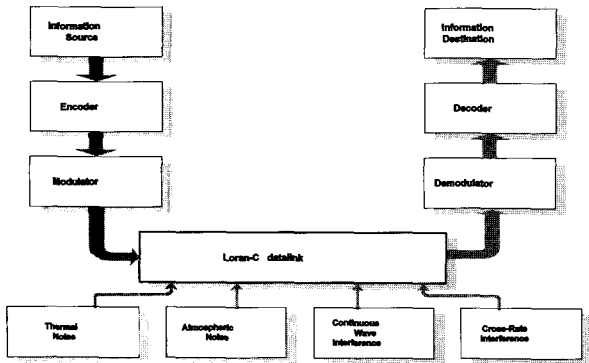


Fig. 1 The Loran-C datalink model.

송신단에서 정보는 DGPS와 CRC 신호 및 RS 코드 신호로 인코딩 되고 변조된다.

전송되는 동안에 신호들은 연속파(Continuous wave interference)나 교차율 간섭(Cross-rate Wave)등의 노이즈에 의해 변형될 수 있다. 마지막으로 수신된 신호들은 복조되고 복호(decoding)되어 원 정보(source)를 얻을 수 있다.

2.2 EUROFIX 변조 과정

EUROFIX의 변조 과정은 Loran-C/Chayka 신호를 변조하여 데이터 전송을 가능하게 만들어 준다.

Table 1 States of the Modulation.

Pulse state	Transmission time minus time of reference pulse(μs)	Indication
Advanced pulse	-1	-
Prompt pulse	0	0
Delayed pulse	+1	+

이 정의는 변조 패턴과 다른 데이터 표현간의 관계와 위치표시를 위해 Loran-C/Chayka 사용의 평가절하를 최소

화하는 변조 전략인 낮은 레벨의 변조타입을 채택한다.

3s-PPM(3-state Pulse Position Modulation)은 각 펄스 그룹에서 3번째부터 8번째까지의 펄스에 적용되어진다. 변조는 변조되지 않은 펄스에 대하여 변조펄스의 1μs의 시간 이동으로 구성된다.

변조의 3가지 가능한 상태가 Table 1에 주어져 있다.

1개의 펄스그룹내의 한 채널상의 진진 혹은 지연 펄스들의 수는 서로 같아야만 한다. 한 펄스그룹내의 6개 펄스들의 변조는 141개의 가능한 균형화 된 패턴들로 분해된다.

EUROFIX에서의 RS Code를 이용한 간단한 패리티 체크의 연결은 우수한 결합이라 할 수 있다. Fig. 2는 63비트 정보를 구성하는 메시지의 인코딩 과정을 보여준다.

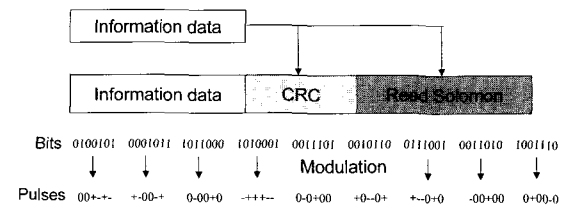


Fig. 2 Encoding and Modulation for the Loran-C data channel.

정보 비트는 7 비트의 각 그룹으로 나누어진다. 따라서 단 한 개의 변조 패턴으로 표현되어진다. 그리하여, 이들 9개의 그룹들은 Reed-Solomon 인코더로 피드백 되어진다. 9개의 정보 심벌에 기초한 인코더는 패리티 심벌을 추가한다. 각각은 7비트의 길이를 가진다. 전체 메시지의 길이는 적합한 Reed-Solomon 코드의 세기에 의존한다. 결국, 각 심벌은 유일한 균형화 된 변조 패턴을 이용하여 Loran-C 신호로 변조되어 사용자에게 전송된다.

현재는, 14, 20 또는 30개의 GRI로 인코딩된 9개의 정보 GRI를 포함하는 EUROFIX 메시지가 전송된다(Willigen and Breeuwer, 1996; Willigen, 1989a).

2.3 Reed-Solomon(RS) Code 부호화

Reed-Solomon 부호는 CD(Compact Disk), digital VCR(Video Disc Recorder), DAT(Digital Audio Tape) 및 HDB(High Digital Broadcasting)등의 시스템에서 오류 정정 부호로 사용되고 있다. 이 부호는 특수한 조건을 만족하는 비2진(nonbinry) BCH(Bose, Chaudhuri, Hocquenghem) 부호이다. 길이가 $q^m - 1$ 인 q^m -ary 부호어이다. 따라서 Galois Field($GF(q^m)$)에서 정의된다는 점 등은 BCH 부호의 특성을 그대로 보여주고 있다.

2.3.1 RS 부호의 생성 다항식

$$g(x) = \prod_{i=1}^{2^m-1-k} (x + \alpha^{b+i}) = \sum_{i=0}^{2l} g_i x^i \quad (1)$$

여기서 α 는 $GF(2^m)$ 의 primitive element이고 b 는 양의 정수이다(Hocquenghem,1959). Field $GF(p)$ 에서의 (n, k) RS-Code 는 n 개의 심벌(symbol)들을 원소로 갖고 있다. 여기서는 $p=2^m$ 인 경우만을 고려한다. $GF(2^m)$ 의 각 원소는 m 개의 비트로 이루어져 있다(이,1998; 강,1996).

2.4 유한체 Fourier 변환을 이용한 RS 부호의 복호법

RS 부호의 복호법은 여러 가지가 있다. 그 중 본 논문에서는 유한체 Fourier 변환을 이용한 복호법을 사용하였다. 수신벡터는 부호벡터와 오류벡터의 합이므로 다음 식으로 표현된다.

$$r_i = c_i + e_i, \quad 0 \leq i \leq n-1 \quad (2)$$

$$R_j = C_j + E_j, \quad 0 \leq j \leq n-1 \quad (3)$$

위의 식 (2)와 식 (3)에서 $C_j = c(\alpha^j)$ 이므로 $c(x)$ 가 $\alpha, \alpha^2, \dots, \alpha^{2t}$ 등의 근을 갖는 부호다항식이면 $c(x)$ 의 계수 중, c_1, c_2, \dots, c_{2t} 는 $\langle 0 \rangle$ 이다. 따라서, 식 (4)는 다음과 같다.

$$R_j = E_j = e(\alpha^j), \quad 1 \leq j \leq 2t \quad (4)$$

수신 다항식 중 R_1, R_2, \dots, R_{2t} 는 오류 형태의 변환만으로 표현할 수 있다. 또한 식 (5)는 다음과 같이 된다.

$$S_j = R_j = E_j, \quad 1 \leq j \leq 2t \quad (5)$$

Fig. 3은 이러한 관계를 나타낸 것이다.

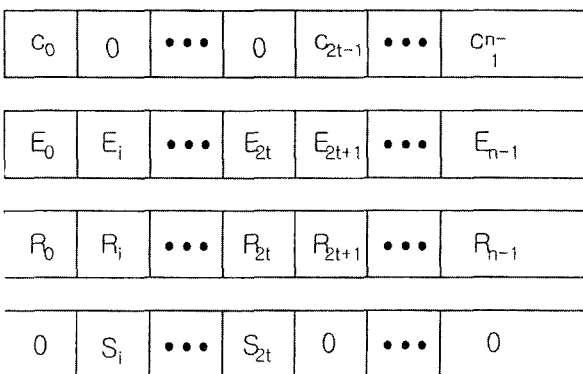


Fig. 3 Connection of code, error, syndrom in transformation domain.

모든 E_j 가 구해지면 $C_j = R_j - E_j (0 \leq j \leq n-1)$ 이므로 변환영역에서 복호가 완료되며 이를 다시 역변환하면 시간영역에서의 복호가 종료된다(이,1990; Blahut, 1970; Bose & Ray-Chaudhuri, 1960).

3. EUROFIX 시스템에서 RS Code 부호화 및 복호화

3.1 RS Code 부호화

3.1.1 $GF(2^7)$ 에서 (14,9) 2중 오류정정 RS부호화 과정

본 논문에서는 EUROFIX에서 사용되는 $GF(2^7)$ 에서 부호화의 최대 128개까지의 심벌들 중에서 NELS에서 테스트 모델로 이용한 (14, 9), (20, 9), (30, 9)의 3 모델 중 가장 간단하게 구현할 수 있는 (14, 9)를 선택하여 2중 오류 정정 RS 부호기를 설계 하였다.

다음 Fig. 4는 부호화 과정을 나타낸 것이다.

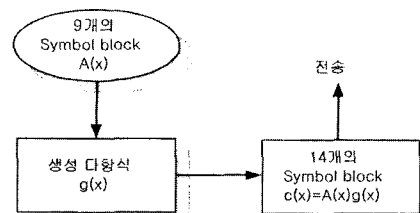


Fig. 4 Encoding of Reed-Solomon code.

Fig. 4에서 보듯이 먼저 생성 다항식을 결정해야 한다.

$GF(2^7)$ 에서 사용된 원시 다항식은 다음과 같다.

$$p(a) = 1 + a^3 + a^7 = 0 \quad (6)$$

식 (6)의 $GF(2^7)$ 으로부터 다항식과 벡터형식으로 표현된다.

생성다항식은 다음과 같이 표현된다.

$$g(x) = (x + \alpha)(x + \alpha^2)(x + \alpha^3)(x + \alpha^4) = \alpha^{10} + \alpha^{99}x + \alpha^{41}x^2 + \alpha^{94}x^3 + x^4 \quad (7)$$

또한, 단일 입력 심벌은 다음과 같다.

$$A(a) = a_0 + a_1 a + a_2 a^2 + a_3 a^3 + a_4 a^4 + a_5 a^5 + a_6 a^6, \quad a_i \in GF(2) \quad (8)$$

식 (7)와 식 (8)의 각 계수와의 곱은 다음과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} \alpha^{10}A(a) &= (a_1 + a_4 + a_5) + (a_2 + a_5 + a_6)a + (a_3 + a_6)a^2 \\ &+ (a_0 + a_1 + a_5)\alpha^3 + (a_1 + a_2 + a_6)\alpha^4 \\ &+ (a_2 + a_3)\alpha^5 + (a_0 + a_3 + a_4)\alpha^6 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \alpha^{99}A(a) &= (a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4) \\ &+ (a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5)a \\ &+ (a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6)\alpha^2 \\ &+ (a_0 + a_5 + a_6)\alpha^3 + (a_0 + a_1 + a_6)\alpha^4 \\ &+ (a_0 + a_1 + a_2)\alpha^5 + (a_0 + a_1 + a_2 + a_3)\alpha^6 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
 \alpha^{41}A(\alpha) &= (a_0 + a_1 + a_3 + a_5) + (a_1 + a_2 + a_4 + a_6)\alpha \\
 &+ (a_2 + a_3 + a_5)\alpha^2 + (a_1 + a_4 + a_5 + a_6)\alpha^3 \\
 &+ (a_0 + a_2 + a_5 + a_6)\alpha^4 + (a_1 + a_3 + a_6)\alpha^5 \\
 &+ (a_0 + a_2 + a_4)\alpha^6
 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
 \alpha^{94}A(\alpha) &= (a_3 + a_4 + a_5 + a_6) + (a_0 + a_4 + a_5 + a_6)\alpha^2 \\
 &+ (a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5)\alpha^3 \\
 &+ (a_0 + a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6)\alpha^4 \\
 &+ (a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6)\alpha^5 \\
 &+ (a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6)\alpha^6
 \end{aligned} \quad (12)$$

3.1.2 (14, 9) RS 부호기 설계

위의 식 (9),(10),(11),(12)들을 이용하여 (14, 9) RS 부호기를 설계하였다. Fig. 5와 같이 나타난다.

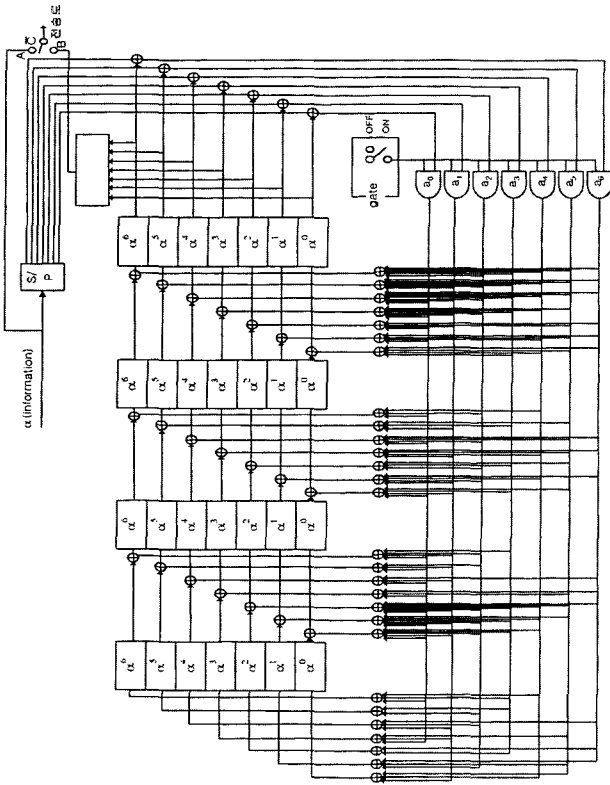


Fig. 5 (14, 9) Encoder of RS code.

3.2 RS Code 복호화

본 논문에서는 EUROFIX의 특성에 맞추어 $GF(2^7)$ 에서의 (14, 9) 2중 오류 정정 RS Code 복호기를 설계하였다. 또한, RS 복호 방법 중, 유한체 Fourier 변환을 이용한 복호법을 이용하였다(이, 1990; Rhee, 1989).

3.2.1 (14,9) RS 부호의 유한체 변환복호법을 이용한 복호 과정

(14, 9) RS 부호의 오증은 수신계열로부터 구할 수 있으며 $2t=4$ 개의 오증 요소는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 S_1 = E_1 &= \sum_{i=0}^{13} \alpha^i r^i = r(\alpha) , \\
 S_2 = E_2 &= \sum_{i=0}^{13} \alpha^{2i} r^i = r(\alpha^2) \\
 S_3 = E_3 &= \sum_{i=0}^{13} \alpha^{3i} r^i = r(\alpha^3) , \\
 S_4 = E_4 &= \sum_{i=0}^{13} \alpha^{4i} r^i = r(\alpha^4)
 \end{aligned} \quad (13)$$

그 중 오류가 발생한 경우 식 (4) (5)로부터 다음과 같이 나타난다.

$$E_j = - \sum_{k=1}^2 \Phi_k E_{j-k} , \quad 0 \leq j \leq 13 \quad (14)$$

$j=3, 4$ 일 때 E_3, E_4 는 각각 다음과 같다.

$$-E_3 = \Phi_1 E_2 + \Phi_2 E_1 \quad (15)$$

$$-E_4 = \Phi_1 E_3 + \Phi_2 E_2 \quad (16)$$

식 (15), (16)을 행렬형으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{E_1 E_3 + E_2^2} \begin{bmatrix} E_3 & -E_2 \\ -E_2 & E_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -E_3 \\ -E_4 \end{bmatrix} \quad (17)$$

식 (17)에서 Φ_1, Φ_2 를 구하면 다음과 같다.

$$\Phi_1 = \frac{E_2 E_3 - E_1 E_4}{E_1 E_3 + E_2^2} \quad (18)$$

$$\Phi_2 = \frac{E_2 E_4 - E_3^2}{E_1 E_3 + E_2^2} \quad (19)$$

이러한 계산과정은 Fig. 6과 같이 설계함으로써 오증으로부터 지연없이 오류위치 다항식의 계수를 구할 수 있다. \mathbb{M} 은 $GF(2^7)$ 상의 승산기, \mathbb{I} 는 $GF(2^7)$ 상의 역원기를 나타낸다. 식 (14)를 이용하여 오증과 오류위치 다항식의 계수로부터 변환영역에서의 오류를 모두 구할 수 있다. 식 (20)은 단일 오류, 식 (21)는 2중 오류의 경우이다.

$$\begin{aligned}
 -E_5 &= \Phi_1 E_4, & -E_6 &= \Phi_1 E_5 \\
 &\vdots \\
 -E_{12} &= \Phi_1 E_{11}, & -E_{13} &= \Phi_1 E_{12} \\
 -E_0 &= \Phi_1 E_{13} \\
 -E_5 &= \Phi_1 E_4 + \Phi_2 E_3
 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
 -E_6 &= \Phi_1 E_5 + \Phi_2 E_4 \\
 &\vdots \\
 -E_{13} &= \Phi_1 E_{12} + \Phi_2 E_{11} \\
 -E_0 &= \Phi_1 E_{13} + \Phi_2 E_{12}
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

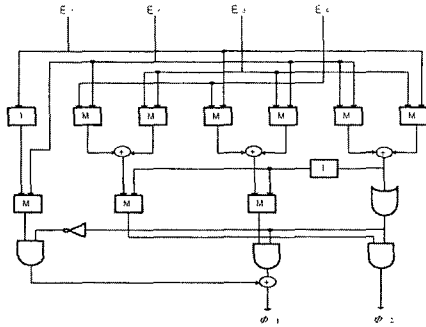


Fig. 6 Circuit of coefficient determination for polynomial of error location.

Fig. 7은 식 (20)과 식 (21)를 수행하는 회로를 설계한 것으로 수신 보호의 마지막 심벌이 복호기에 입력되는 순간 가장 빠르게 모든 오류를 얻을 수 있는 회로로서 소자들의 시연시간 후에는 바로 복호된 신호를 출력할 수 있도록 설계한 것이다.

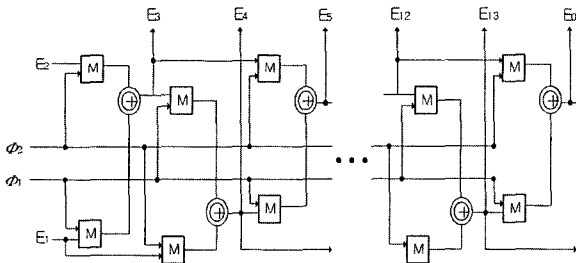


Fig. 7 Circuit of error constitution in transformation domain.

변환영역에서의 오류를 역변환시키므로써 시간영역에서의 오류 $e_i (0 \leq i \leq 14)$ 를 차례로 얻을 수 있으며 다음과 같이 나타난다.

$$e_{13} = \sum_{j=0}^{13} \alpha^{-13j} E_j = E(\alpha^{-13}) = E(\alpha) \tag{22}$$

$$e_{12} = \sum_{j=0}^{13} \alpha^{-12j} E_j = E(\alpha^{-12}) = E(\alpha^2)$$

\vdots

$$e_1 = \sum_{j=0}^{13} \alpha^{-j} E_j = E(\alpha^{-13}) = E(\alpha^{13})$$

$$e_0 = \sum_{j=0}^{13} E_j = E(\alpha^{-13}) = E(1) \tag{23}$$

Fig. 8은 역변환 과정을 위한 회로를 설계한 것이다. 변환 영역의 모든 오류가 입력되는 순간 e_{14} 가 계산되어 출력되고, 동시에 귀환되어 flip-flop에 저장된다. 순차적 과정에 e_0 이 출력되는 순간 모든 flip-flop을 clear 하여 다음 수신 계열의 오류를 받을 준비를 한다.

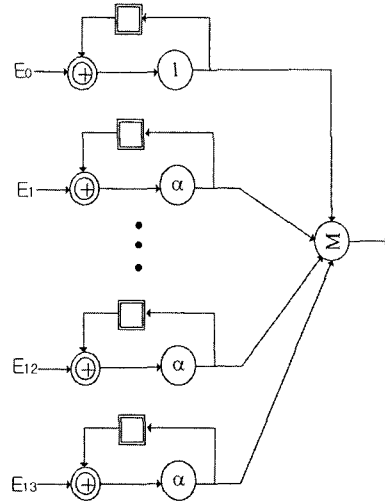


Fig. 8 Circuit of Inverse transform.

3.2.2 (14, 9) RS 부호의 변환 복호기 설계

(14, 9) 2중 오류 정정 RS 부호의 변환복호기의 블록도는 Fig. 9와 같다. 14단의 수신계열 저장 레지스터에 마지막 심벌이 저장되는 순간 E_1, E_2, E_3, E_4 가 계산되는 동시에 Φ_1, Φ_2 가 출력된다. 그리고 Φ_1, Φ_2, E_1, E_2 를 이용하여 $E_5, E_6, \dots, E_{13}, E_0$ 를 구하고 이를 역변환시켜 $e_{13}, e_{12}, \dots, e_1, e_0$ 를 순서대로 출력하여 오류 정정을 수행한다.

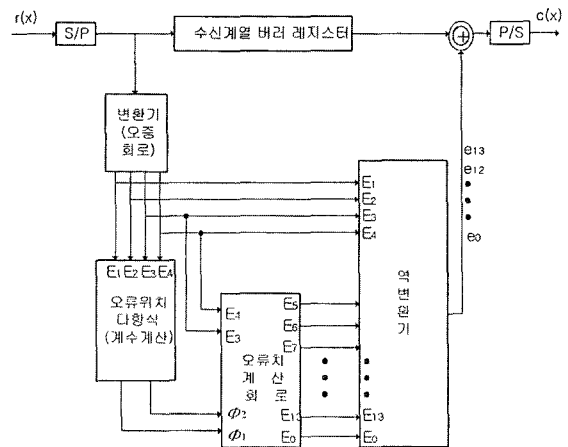


Fig. 9 (14, 9) Transformation decoder of RS code.

4. 시뮬레이션

4.1 RS Code Encoding 시뮬레이션

위의 Fig. 5와 같이 설계된 부호기를 시뮬레이션 해 보았다. Galois Field $GF(2^7)$ 에서 나올 수 있는 최대의 n 값 127을 사용하였다. 그 결과는 Fig. 11과 같이 나타난다. Fig. 11에 대한 설명은 다음의 Fig. 10과 같다.

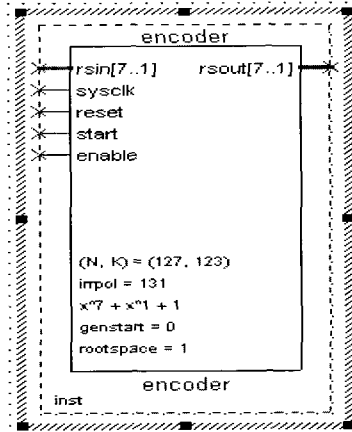


Fig. 10 RS encoder.

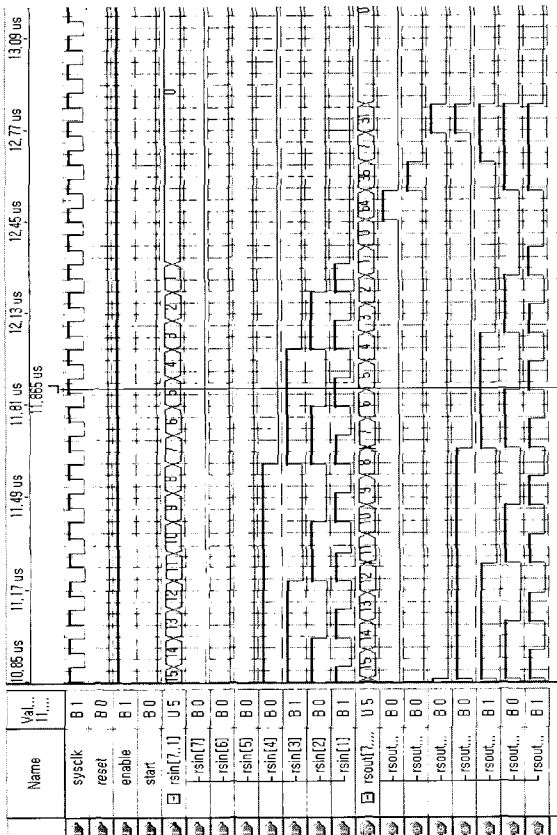


Fig. 11 Results of RS encoding's simulation.

4.2 RS Code decoding 시뮬레이션

Fig. 9에서 설계한 RS 복호기를 시뮬레이션 해 보았다. 본 논문에서 사용한 $GF(2^7)$ 의 (14, 9)를 사용하였고 그 결과는 Fig. 13과 같다. 또한 Fig. 13에 대한 설명은 Fig. 12에 나타난다.

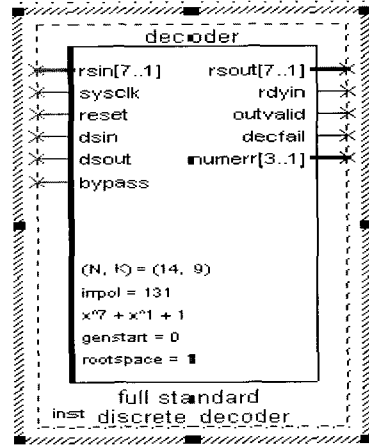


Fig. 12 RS decoder.

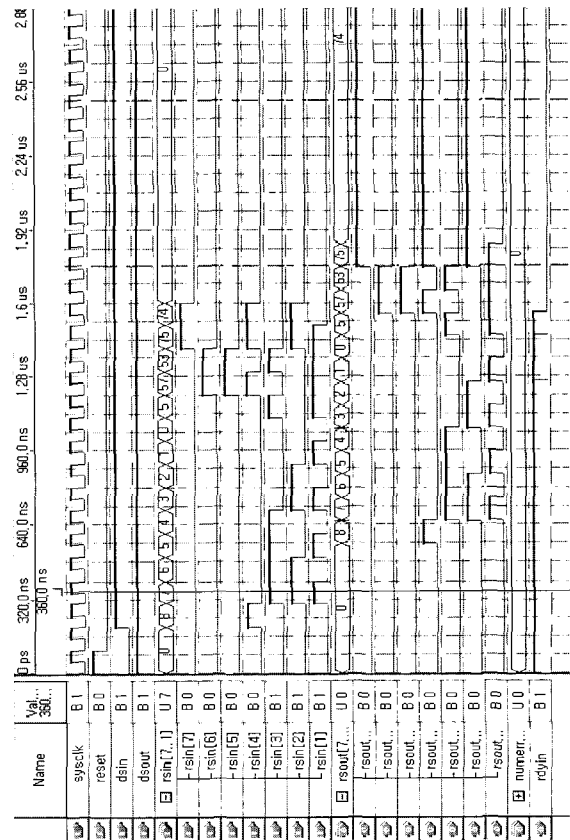


Fig. 13 Results of RS decoding's simulation.

5. 결 론

본 연구에서 구현한 RS 부호의 복호법은 유한체 Fourier 변환을 적용한 복호법이다. Fourier 변환을 부호 이론에 적용하면 전자통신공학의 여러 분야에서 이미 사용되고 있어 부호이론에 대한 접근이 용이하고, 변환영역에서 복호기의 구조와 실현이 시간 영역의 경우보다 간단해진다.

또한, 다른 일반 복호 방법에 비해 복호 시간을 단축 처리할 수 있게 된다. 즉, 변환 복호 방법은 유한체 $GF(2^m)$ 의 크기에 무관하게 복호가 완료되는 반면, 일반적인 복호 방법의 경우에는 $GF(2^m)$ 상의 차수(order)인 m 의 크기에 따라 민감하게 변화된다.

따라서, 본 논문에서는 다른 일반 복호법에 비해 많은 장점을 가진 유한체 Fourier 변환 복호법을 적용한 EUROFIX 시스템을 제안하였다.

그리고 EUROFIX의 데이터 전송에 적용되는 Reed-Solomon Code에서 7비트를 하나의 심벌로 보내는 (14, 9)를 기본 모델로 하여 부호기와 복호기를 설계하였으며 시뮬레이션을 통하여 성능을 확인 하였다.

앞으로 연구할 과제는 다양한 알고리즘의 분석과 제작을 통하여 시뮬레이션과 측정 데이터와의 분석이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 강창인, (1996), 디지털통신입문, 북두 출판사, pp. 168~180

[2] 이만영, (1990), BCH 부호와 Reed-Solomon 부호, 민음사

[3] 이문호, (1998), 실용 정보이론, 북두 출판사

[4] Blahut, R.E.(1970), "Transform Techniques for Error-control Codes," *IBM J. Res, Dev.*, 23, pp.299~315, 1970.

[5] Bose, R.C. and Ray-Chaudhuri, D. K.(1960), "On a Class of Error-correcting Binary Group codes," *Information and control*, vol3, pp.68~79

[6] Hocquenghem, A. (1959), "Codes correcteurs d'erreurs", *Chiffres*, Vol.2, pp.147~156

[7] Rhee, M.Y. (1989), *Error Correcting Coding Theory*, McGraw-Hill, New York

[8] Willigen, D. Van, Breeuwer, E.J, A Offermans, G.W, Sierenveld, J, and de Zwart, J.(1996), "EUROFIX Information Paper," *TVS Memorandum*, No, REP9606A, June, pp. 2~4

[9] Willigen, D. Van, (1989a), "Eurofix," *The Journal of Navigation*, Vol. 42, No. 3, September, pp. 1~4

[10] Willigen, D. Van, (1989b), "Eurofix : Differential Hybridized Integrated Navigation," *Proceedings of the 18th Annual Technical Meeting of the Wild Goose Association*, Hyannis, MA, October 29-November 1, pp. 1~3

원고접수일 : 2003년 9월 30일
 원고채택일 : 2003년 11월 17일