

論文 92-29A-8-1

RDS 수신 시스템에서 동기식 신호복원과 에러정정에 관한 연구

(A Study on the Synchronous Signal Detection and
Error Correction in Radio Data System)

金 基 根*, 柳 興 均*
(Ki Keun Kim and Heung Gyoon Ryu)

要 約

라디오 데이터 시스템은 디지털 정보 통신의 차세대 방송방식으로 VHF/FM 대역의 FM 스테레오 신호에 디지털 데이터를 다중화하여 중요하고 다양한 서비스 기능을 제공한다. 그리고 라디오 데이터는 그룹단위로 구성되며, 각 그룹은 정보어와 검사어로 이루어진 4블럭으로 나뉘어진다. 본 논문에서는 라디오 데이터를 수신, 처리하여 서비스를 제공하기 위한 라디오 데이터 수신기를 구성하였다. 그래서 제안한 복조기의 BER이 10^{-5} 이하이기 위해 SNR이 7dB 이상을 요구함을 알았다. 그리고 블럭동기화에 의해 동기가 이루어진 단축순회 복조기의 복호과정을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 또한 라디오 데이터를 16배 압축하여 데이터 처리 효율성을 개선하였다. 평가 결과 제안한 수신기가 EBU 시스템 규격을 만족함을 확인하였고, 시스템은 일반 랜덤 로직으로 구성하였다.

Abstract

Radio data system is a next-generation broadcasting system of digital information communication which multiplexes the digital data into the FM stereo signal in VHF/FM band and provides important and convenient service features. And radio data are composed of groups which are divided into 4 blocks with information word and check word. In this paper, radio data receiver is developed which recovers and process radio data to provide services. Then we confirm that 7dB SNR is required to be 10^{-5} BER of demodulation. Decoding process of shortened-cyclic-decoder has been simulated by computer. Also, the time-compression (by 16 times) method has been adopted for the RDS features post-processing. Via the error probability calculation, simulation and experimentation, the developed receiver system is proved to satisfy the system specification of EBU and implemented by general logic gates and analog circuits.

I. 서 론

* 正會員, 忠北大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Chungbuk Nat'l Univ.)

接受日字: 1991年 12月 19日

(※ 이 연구는 '91년도 한국과학재단 연구비 지원에 의한 결과임. 과제번호: 913-0801-001-2)

라디오 데이터 시스템(RDS: Radio Data System)은 새롭고 중요한 방송방식으로, VHF(Very High Frequency) 대역의 FM 스테레오 신호에 디지털 데이터를 다중화하여 방송국 식별, 자동선국, 방송국명 표시, 교통

방송 실시 등의 편리하고 중요한 서비스 기능을 실현할 수 있는 새로운 FM 다중 방송방식이다.

라디오 데이터 시스템에 관한 규격검토는 1979년에 시작되어, 1984년에 유럽방송연맹(EBU : European Broadcasting Union)에서 처음으로 규격을 완성 공개한 뒤, 그후 보완규정과 추가기능을 정하였으며, 1986년에 스웨덴이 라디오 데이터 시스템 방송을 처음으로 시작하였다.^[1] 이에따라 유럽을 중심으로 그 이용이 확대되었으며, 현재 대부분의 서구 유럽국가와 지중해 연안국가에서는 라디오 데이터 시스템의 방송이 실시되고 있다. 그리고 이미 라디오 데이터 시스템은 세계 각국에 소개되었으며, 각 나라에서는 자국의 실정에 맞는 규정을 채택하여 방송실시를 검토중이다.^[2]

아시아 지역에서는 1990년 싱가포르에서 시험방송을 실시하여 실현의 타당성 및 기술적 경제적 분석을 수행하였다. 그리고 한국에서도 1991년 11월 중순부터 경인지역을 중심으로 시험방송을 하고 있으며, 1993년부터는 전국적으로 실시할 계획이다.

본 논문에서는 1.187kbps 속도로 다중화된 라디오 데이터 신호를 복원하는 수신 시스템의 복조기를 구성하고, 제안한 복조기를 수학적인 해석을 통하여 복원과정을 확인하고, 복원한 라디오 데이터의 오차확률을 분석하여 수신성능을 평가하였다. 그리고 동기화기를 설계하여 검출한 라디오 데이터의 동기를 맞추고, 단축순회 복조기를 구성하여 데이터의 에러를 정정하였다. 범용 소프트웨어를 이용하여 복조과정을 시뮬레이션하였다. 또한 정정된 디지털 라디오 데이터를 시간축으로 압축하여 데이터 처리 효율성을 개선하였다. 그리고 모든 시스템을 일반 랜덤 논리회로를 이용하여 구현하였다.

II. 라디오 데이터 수신기

유럽방송연맹 규격에 의한 라디오 데이터 시스템의 원천 데이터의 기본 데이터 속도는 1.1875kbit/s이며, FM 스테레오 신호에 57kHz 부반송파로 DSB-SC 변조된 라디오 데이터 신호를 다중화한다. 그림 1은 라디오 데이터가 다중화된 기저대역의 FM 스테레오 신호의 스펙트럼이며, 그림에서 라디오 데이터 신호는 57kHz를 중심으로 4.8kHz의 대역을 점유하며, 기존의 FM 스테레오 신호 대역의 바깥쪽에 위치하므로 호환성을 갖는다.

1. 복조기

라디오 데이터 수신기에서는 변조된 라디오 데이터 신호를 분리시킨뒤 복조기를 이용하여 디지털 데이터를

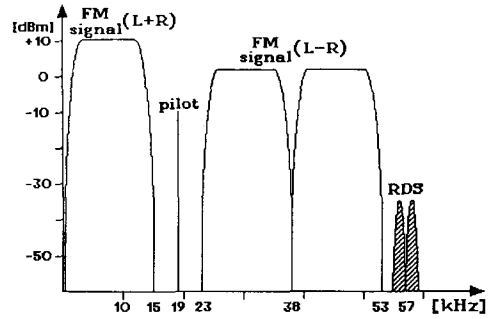


그림 1. 라디오 데이터가 다중화된 FM 스테레오 신호 스펙트럼

Fig. 1. Spectrum of FM stereo signal with multiplexed radio data signal.

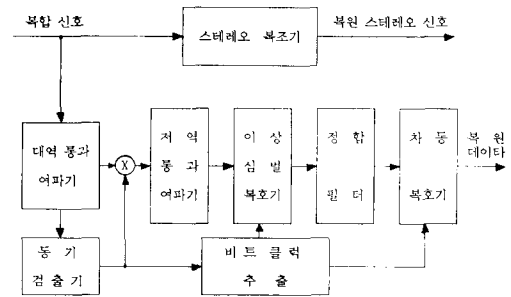


그림 2. 라디오 데이터 신호 복조기 구성도

Fig. 2. Block diagram of radio data signal demodulator.

추정하게 된다. 그림 2는 제안하는 라디오 데이터 복조기의 구성도이며, 이것은 유럽방송연맹 규격의 기본 제안도에 의거된 것이다.^[3]

먼저, FM 수신기에 의해 얻어진 기저대역 신호에서 57kHz 중심의 대역 여파기를 사용하여 라디오 데이터를 추출한 뒤, PLL(Phase-Locked Loop)에 의해 동기가 맞추어진 반송파에 의해 동기 복조된다. 이 기저대역 신호의 고조파 및 고주파 잡음을 제거하기 위해 저역통과 여파기를 사용하였다. 한 주기동안 이상 복조한 후, 정합 필터로 라디오 데이터를 검출하였다. 검출된 데이터를 차동복조하여 디지털 라디오 데이터를 복원하였다. 제안한 라디오 데이터 복조기의 회로도도 그림 3과 같다. 여기서 라디오 데이터의 입력은 RDS 인코더에서 얻었다.

2. 동기화기

1.1875kbps의 속도를 갖는 라디오 데이터는 104비트의

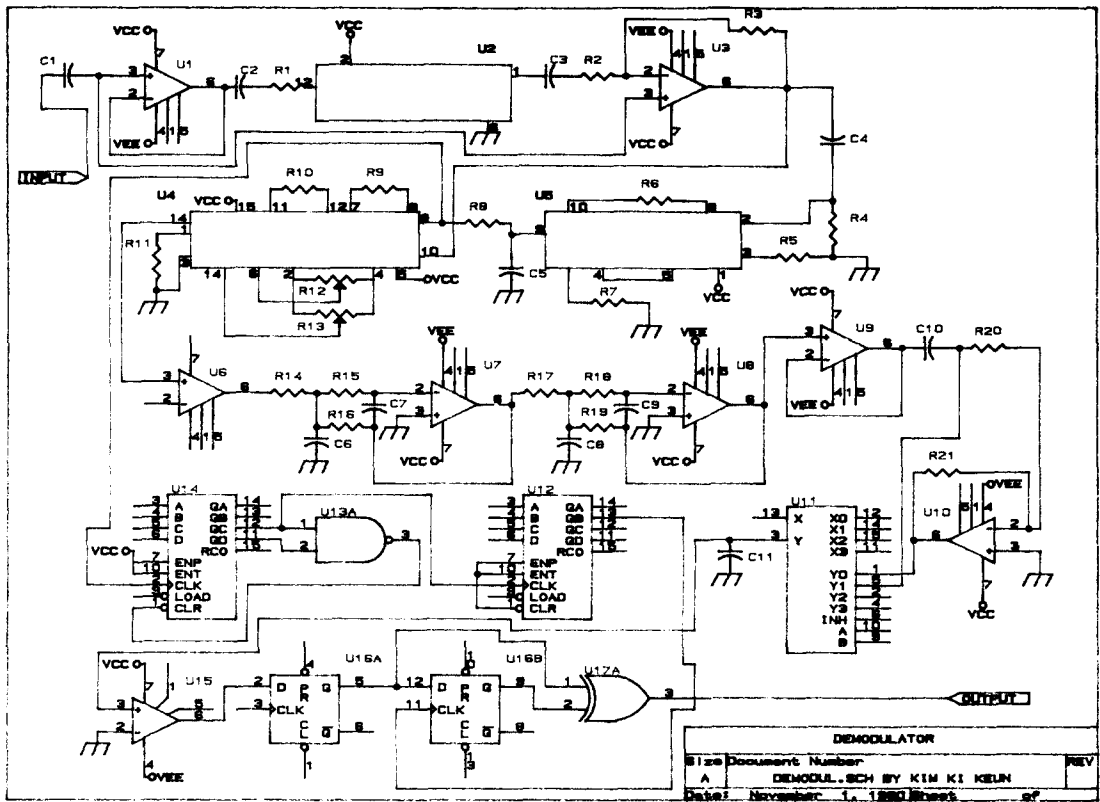


그림 3. 라디오 데이터 복조기 회로도
Fig. 3. Radio data demodulator circuit.

그룹(group)으로 이루어지며, 각 그룹은 각각 26비트인 4개의 블록(block)으로 구성되어 있다. 각 그룹의 첫번째 블록은 프로그램 인식(PI : Program identification)이며 각 블록은 정보어(information word)와 검사어(check word)로 나누어지며, 정보어는 16비트 검사어는 10비트이다. 10비트의 검사어는 26비트의 데이터를 생성 다항식으로 나누어 얻어진 나머지와 그룹 및 블록 동기를 위해 사용되는 10비트의 옴셋어를 더한 것이다.

라디오 데이터는 그룹과 블록단위로 구성되어 있으며, 옴셋어를 이용하여 그룹 및 블록동기를 이루어 에러 정정과 데이터 처리를 가능하게 한다. 채널의 에러를 알면 신드롬은 알 수 있으며 이러한 관계가 동기에 사용된다. 옴셋어가 각 블록에 더해지는 것은 에러가 각 블록에 더해지는 것과 같다. 즉 채널에 다른에러가 없으면 옴셋어는 각 블록의 옴셋어에 해당하는 신드롬을 계산함으로써 알 수 있고, 이 옴셋어는 그룹 및 블록동기에 이용된다.

제한한 그룹 및 블록 동기화기의 구성도는 그림 4과 같다. 수신기에서 그룹 및 블록 동기를 이루기 위해서

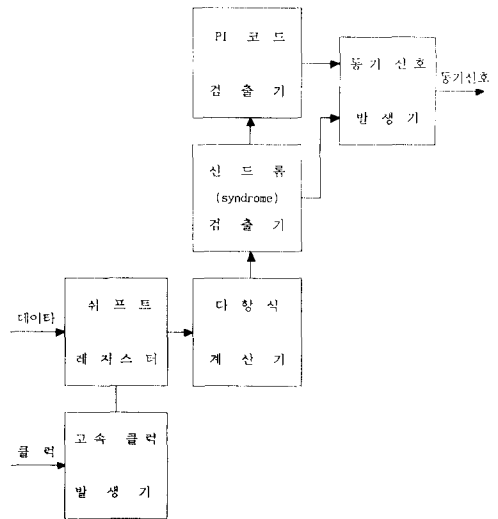


그림 4. 그룹 및 블록 동기화기 구성도
Fig. 4. Block-diagram of group and block synchronizer.

저장된 26비트 정보에 대해 매 클럭 펄스마다 신드롬을 계산한다. 이런 매 비트마다의 검사는 신드롬이 타당한 윽셋어와 일치될 때까지 하며, 이 타당한 윽셋어는 그룹 내에서 각 블록마다 존재하게 된다. 그리고 동기의 정확성을 위해 매 그룹의 블록 1에 위치하는 PI 코드를 검사하여 동기를 확인한다. 이와 같이 되었을 때 복호기는 동기되고, 송신측에서 부호어에 더해졌던 윽셋어는 에러 검출 및 정정을 위한 신드롬 계산전에 검사어에서 빼어져야 한다.

신드롬은 라디오 데이터의 매 클럭 마다 이 고속 클럭에 의해 다항식에 계산되어 신드롬이 검사된다. 그림 5는 다항식 레지스터와 신드롬 검출기에서 계산된 신드롬이다. DATA 0은 계산용 고속 클럭으로서 41.6667kHz의 속도를 갖는다. DATA 1에서 DATA 10까지는 신드롬 S0에서 S9의 데이터이다. 그리고 DATA11은 윽셋어 동기 신호, DATA12는 블록 1의 동기 신호로 쉬프트 레지스터에 저장된 26비트의 데이터가 블록 1의 데이터를 나타낸다.

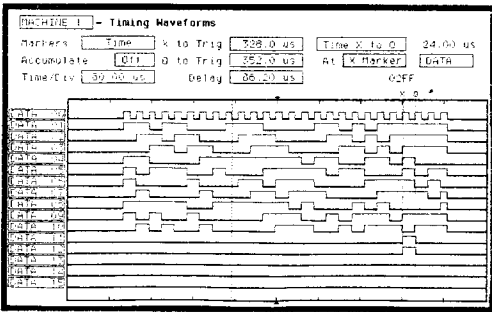


그림 5. 계산된 신드롬
Fig. 5. Calculated syndrome.

3. 복호기

통신 시스템을 설계할 때 시스템이 요구하는 정보장 및 부호장이 이미 알려진 정보장 및 부호장과 다른 경우가 많으므로, 이 요구에 응하기 위해 부호를 단축하는 기법을 사용한다. (n, k) 순회부호의 모든 부호어에서 상위 i개의 정보를 "0"으로 대처하면 (n-i, k-i) 선형부호를 형성하게되며, 이 부호가 단축순회부호이다.^[4-5] 라디오 데이터의 에러정정에 사용한 단축순회부호는 (26, 16)의 선형부호이며 그 생성다항식은 식 (1)과 같다.^[1]

$$g(x) = x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^3 + 1 \quad (1)$$

각 블록은 16개의 정보비트와 10개의 검사비트로 구성되며 단축순회부호의 10비트 검사어는 x^{n-k} (n-k는 검사어의 비트수 : 10)를 곱한 후 생성다항식으로 나눈 나머지이다. 만약 16비트 정보가 다항식

$$m(x) = m_{15}x^{15} + m_{14}x^{14} + \dots + m_1x^1 + m_0 \quad (2)$$

이면 기본 코드 벡터는

$$v(x) = m(x)x^{10} + m(x)x^{10}/g(x) \text{ mod } g(x) \quad (3)$$

이며, 부호어에 그룹 및 블록동기용의 10비트 윽셋어 d(x)가 더해지므로 전송된 코드벡터 c(x)는 식 (4)와 같다.

$$c(x) = d(x) + v(x) = d(x) + m(x)x^{10} + m(x)x^{10}/g(x) \text{ mod } g(x) \quad (4)$$

이 코드는 정보비트 ($c_{25}x^{25} - c_{10}x^{10}$)가 먼저 전송되고 검사비트 ($c_9x^9 - c_0$)가 나중에 전송된다. 그리고 생성다항식에 의해 얻어지는 생성행렬 G는 식 (5)와 같다.

$$G = \begin{bmatrix} 1000000000000000000000001110111 \\ 01 & 01011100111 \\ 0 & 1 & 01110101111 \\ 0 & & 1 & 01100001011 \\ 0 & & & 1 & 01101011001 \\ 0 & & & & 1 & 01101110000 \\ 0 & & & & & 1 & 00110111000 \\ 0 & & & & & & 1 & 00011011100 \\ 0 & & & & & & & 1 & 00001101110 \\ 0 & & & & & & & & 1 & 00000110111 \\ 0 & & & & & & & & & 1 & 01011000111 \\ 0 & & & & & & & & & & 1 & 01110111111 \\ 0 & & & & & & & & & & & 1 & 01100000011 \\ 0 & & & & & & & & & & & & 1 & 01101011101 \\ 0 & & & & & & & & & & & & & 1 & 101101110010 \\ 00000000000000000000101110111001 \end{bmatrix}$$

만약 \bar{x} 가 전송된 2진 시퀀스이고 \bar{y} 가 수신된 시퀀스이면, 수신된 2진 시퀀스 \bar{y} 에 대해 신드롬 \bar{s} 는 $\bar{s} = \bar{y} \cdot H$ 이며, H는 패리티 검사행렬이다.

$\bar{y} + \bar{x}$ 는 \bar{y} 와 \bar{x} 가 각각 비트에서 서로 다를 때 "1"이 되는 시퀀스가 된다. 이 시퀀스를 에러 시퀀스 \bar{Z} 라 한다. 패리티 검사행렬의 정의에 의해 $\bar{x}H = 0$ 이 되고

$$\bar{Z}H = (\bar{y} + \bar{x})H = \bar{y} \cdot H + \bar{x} \cdot H = \bar{y} \cdot H = \bar{s} \quad (6)$$

이므로 $\bar{s} = \bar{z}H$ 이다.

라디오 데이터는 단축순회부호로 부호화된(26, 16)블록코드이다. 즉 10비트의 부호어는 채널의 잡음에 의한 데이터 에러를 정정하기 위해 사용된 잉여코드이며, 이를 만족하는 단축순회 부호기의 구성도는 그림 6과 같다. [6~10] 최적의 부호기 구성의 경우에 단축순회 부호기는 모든 1비트, 2비트 에러를 검출할 수 있으며, 10비트 이내에서 발생한 단일 에러는 모든 검출 가능하다. 부호기 회로는 그림 7과 같다.

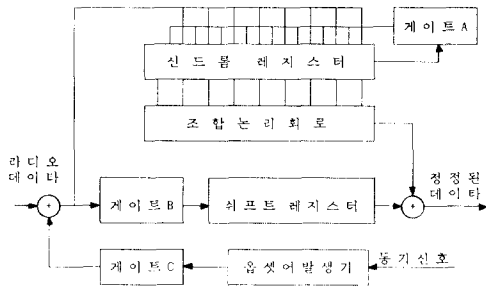


그림 6. 단축순회 부호기
Fig. 6. Shortened cyclic decoder diagram.

4. 압축기

복호된 라디오 데이터는 편리한 서비스를 제공하기 위해 데이터 처리과정을 거치게 된다. 데이터 처리는 블록 단위로 이루어지며, 라디오 데이터는 연속적으로 들어오게 되므로 데이터 처리기는 1/1187.5 sec 동안에 각 블록의 서비스를 제공해야 한다. 그러나 라디오 데이터가 제공하는 서비스는 다양하므로 한 블록의 데이터 처리를 라디오 데이터의 한 클럭 동안에만 한다는 것은 처리 시간이 비효율적이게 된다. 즉 RDS서비스의 기본 기능(PI, PS, AF, TP, TA) 이외에 2차 기능(ON, CT, PTY, PIN, RT, TDC, DI, M/S, IN)과 추가 보완 기능(RP, TMC)의 각 블록 서비스가 제공되면 프로세서가 그 서비스를 모두 처리하여 제공하기에는 1 클럭의 시간 단으로는 한계가 있다. 그래서 데이터 처리의 효율을 개선하기 위해 블록 단위로 라디오 데이터가 처리됨을 이용하여 라디오 데이터를 1클럭에 해당하는 1/1187.5 sec 동안 모든 서비스에 대한 정보를 받아들이고, 나머지 시간 동안 프로세서가 처리하도록 하여 시간축 상에서 블록 단위로 압축하였다. 그림 8은 제안한 압축기의 구성도이다. [6~11] 그림 9은 압축기의 회로도이다. 압축한 라디오 데이터는 시간영역 이용의 효율성을 높여 블록단위 데이터 처리의 효율성을 개선시켰다. 사용된 압축비는

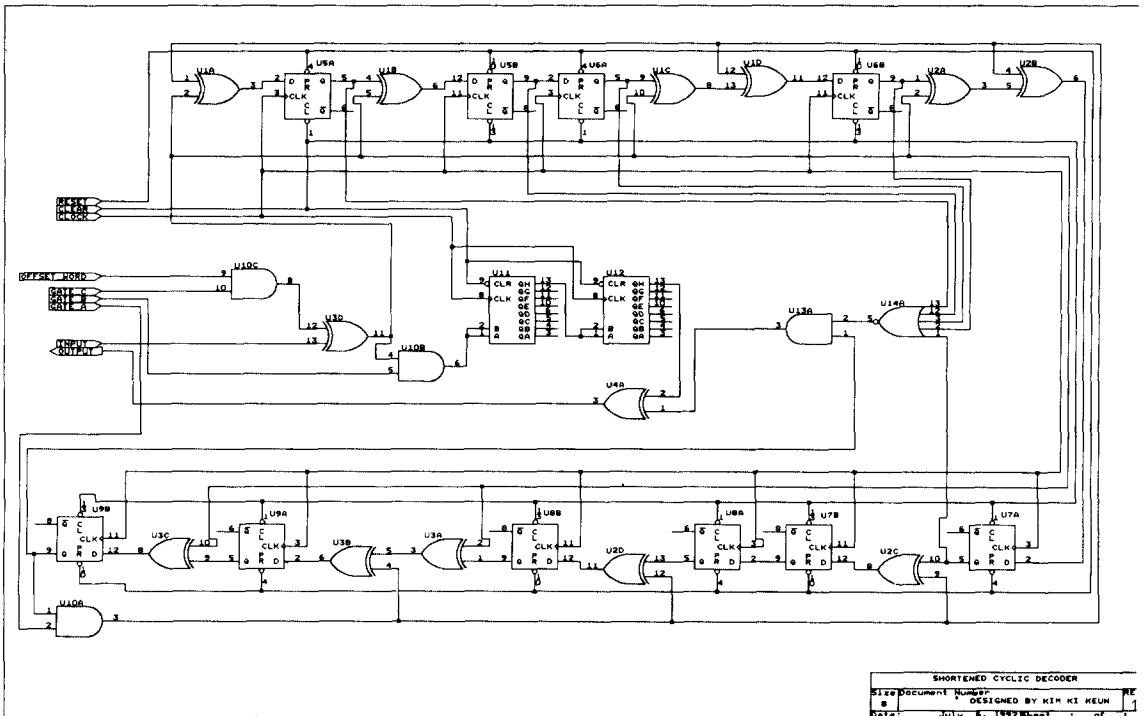


그림 7. 단축 순회 부호기 회로도
Fig. 7. Shortened cyclic decoder circuit.

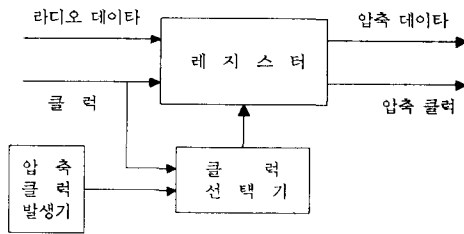


그림 8. 압축기 구성도

Fig. 8. Block diagram of compressor.

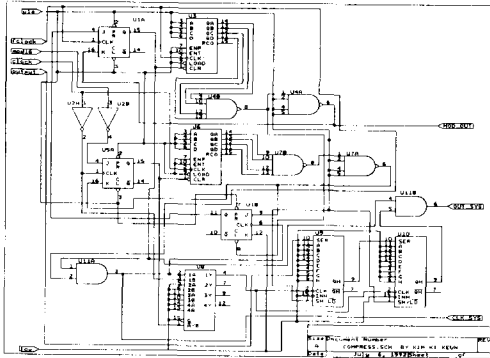


그림 9. 압축기 회로도

Fig. 9. Compressor circuit.

1 : 16이며, 필요에 따라 압축비 변화는 가능하다.

Ⅲ. 실험 및 고찰

수신 데이터 복원 과정을 통해 데이터의 판별과 오차 성능을 구하기 위하여 라디오 데이터 수신기에서 전송의 해악이 낮은 전계 강도에 의한 열잡음을 가정했을때 복조기의 출력에서의 에러가 발생할 확률을 구하였다.

적분된 라디오 데이터 신호의 크기를 임의의 A로 하였고, 전력 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 잡음이 선형 시스템인 적분기를 통과하였으므로 적분기 출력 $r_p(t)$ 는 식 (7)과 같다.

$$r_p(t) = r_i(t) + N \quad (7)$$

여기서 $r_i(t)$ 는 $r_p(t)$ 의 적분 신호이며, N은 식 (8)로 정의되는 확률변수이다.

$$N = \int_{t_0}^{t_0+t_d} n(t) dt \quad (8)$$

N의 확률분포 함수는 식 (9)와 같다.

$$f_n(\eta) = \frac{1}{\sqrt{\pi N_0 t_d}} e^{(-\eta^2 / N_0 t_d)} \quad (9)$$

비교기에서 "0"의 데이터를 전송했을 경우 잡음 N이 1.846A보다 크면, 그리고 "1"의 데이터를 전송했을 경우 잡음이 -1.846A보다 작으면 에러가 발생하여 복조기는 데이터를 정확하게 복원하지 못하게 된다. 그러므로 전체 복조기의 추정과정에서 오차발생 확률 P_e 는 식 (10)과 같다.

$$P_e = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} (1.846A / \sqrt{N_0 t_d}) \quad (10)$$

여기서 A는 라디오 데이터 신호의 크기, N_0 는 잡음의 전력 스펙트럼 밀도, 그리고 t_d 는 1187.5 μ [sec]이다. 계산된 오율성능의 결과는 그림 10에 도시하였다. 계산 결과에서 10^{-6} BER을 만족하기 위해서는 7dB 이상의 신호대 잡음비가 필요하며, 10^{-10} BER을 만족하기 위해서는 약 10dB 이상의 신호대 잡음비가 필요함을 알 수 있다. 그리고 라디오 데이터 복조기에서 복원한 디지털 라디오 데이터와 클럭은 그림 11과 같다. 복원한 클럭 신호의 속도는 1.1875kHz이다.

그림 12는 싱드럼 레지스터에 의해 검출된 에러가 라디오 데이터에서 정정된 결과를 나타낸다. 그림에서 위의 신호는 에러가 정정된 라디오 데이터이며, 아래 신호는 에러의 위치를 나타낸다.

단축 순회 복호기는 일반 랜덤 로직으로 구성하였으며, 구성한 단축 순회 복호기를 컴퓨터 시뮬레이션하여 단축 순회 복호 과정을 확인하였다. 그림 13은 컴퓨터

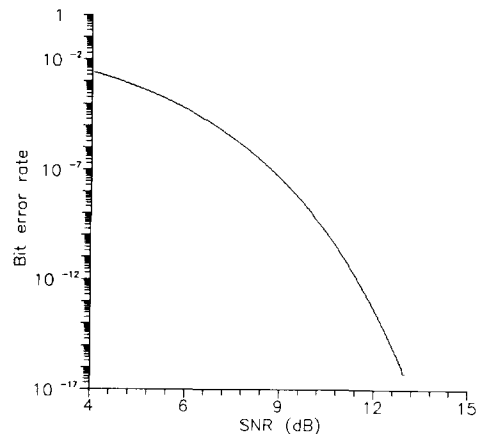


그림 10. 라디오 데이터 복조기에서의 에러 발생 확률
Fig. 10. Error probability in radio data demodulator.

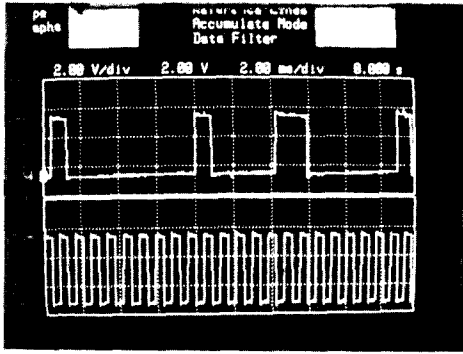


그림 11. 라디오 데이터 복조기의 출력 데이터와 클럭
Fig. 11. Output and clock pulse of radio demodulator.

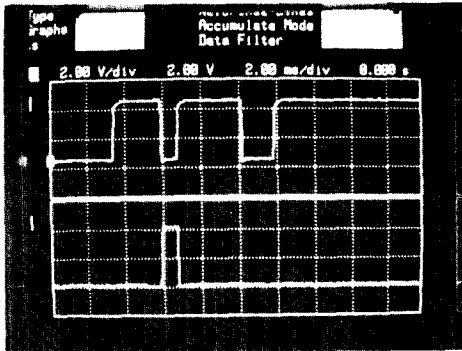


그림 12. 검출된 에러와 정정된 라디오 데이터
Fig. 12. Detected error and corrected radio data.

시뮬레이션 결과이다. 입력 데이터는 블록 1의 16진수로 C20126DH로 해당 옥셋어는 이진수로 0011111100이다. 각 블록의 시작에서 10비트 신드롬 레지스터와 16비트의 버퍼 레지스터는 0으로 클리어 한다. 게이트 A, B, 그리고 C는 16비트의 정보어가 신드롬, 버퍼 레지스터에 들어간 후 10비트의 검사어가 신드롬 레지스터에 들어가도록 하는 제어용 입력이다. 각 블록의 적절한 옥셋어는 다코더 입력에 있는 모듈-2 가산기에서 검사어로 부터 비트끼리 감산된다. 16비트의 정보어는 출력으로 연결되고, 동시에 신드롬 레지스터의 내용이 회전하게 된다. 트레이스 INPUT을 보면 입력에 에러를 볼 수 있다. 임의로 에러가 발생되도록 C20192D를 입력시켜 복조기의 에러 정정 능력을 확인하였다. 트레이스 OUTPUT단에서 블록 1의 정보어인 C201H이 정확하게 출력됨을 확인할 수 있다. 신드롬 레지스터에서 왼쪽으로 부터 5단이 모두 제로이면, 레지스터의 오른쪽으로 부터 5단내에 최대 길이 5비트의 에러가 발생한다.

컴퓨터 시뮬레이션 결과 입력된 에러는 보정되어 트레이스 ERROR단에서는 에러가 발생하지 않았다는 것을 확인할 수 있다.

최적의 복호기 구성의 경우에 단축순회 복호기는 모든 1비트, 2비트 에러를 검출할 수 있으며, 10비트 이내에서 발생한 단일 에러는 모두 검출 가능하다. 그림 14는 복호한 라디오 데이터와 클럭이다. 그림의 위 신호는 에러가 정정된 라디오 데이터이며, 아래 신호는 1.1875kHz의 라디오 데이터와 클럭이다.

그림 15은 압축된 라디오 데이터와 클럭이다. 그림에서 위의 신호는 16배로 압축된 라디오 데이터이며, 아래 신호는 라디오 데이터의 클럭이다.

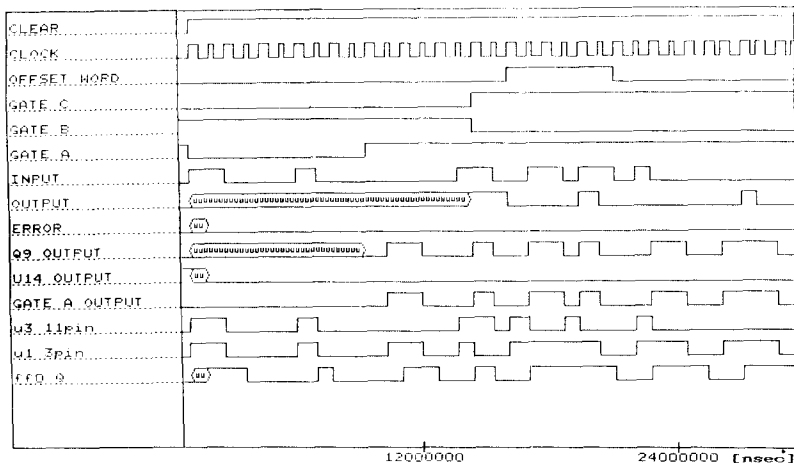


그림 13. 복호기의 컴퓨터 시뮬레이션 결과
Fig. 13. Computer simulation results of decoder.

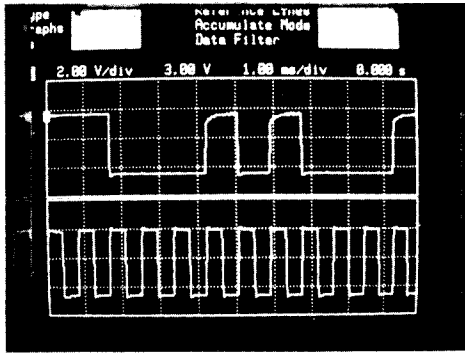


그림 14. 복호한 라디오 데이터와 클럭
 Fig. 14. Decoded radio data and clock.

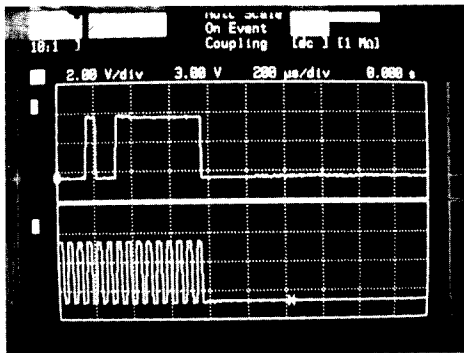


그림 15. 압축된 라디오 데이터와 클럭
 Fig. 15. Compressed radio data and clock.

개발된 하드웨어와 기능 실현 프로그램을 8비트 마이크로 콘트롤러에 펌웨어(firmware) 처리하여 제작된 라디오 데이터 수신기의 실험 결과를 나타내었다. 그림 16은 RDS TEST를 PS(Program Service) name 표시부에 나타낸 것이다. 그림 17은 99.7MHz를 표시하면서 동시에 TP, TA를 요구하여 같이 표시된 것이다. 그와 동시에 기존의 LED는 99.7MHz를 병행으로 표시할 수 있음을 나타내었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 라디오 데이터를 수신하여 처리하는 복조기, 동기화기, 복호기, 그리고 압축기로 이루어진 라디오 데이터 수신기를 설계하였다. 먼저 라디오 데이터를 복원하는 복조기를 제안하였다. 그리고 제안한 복조기

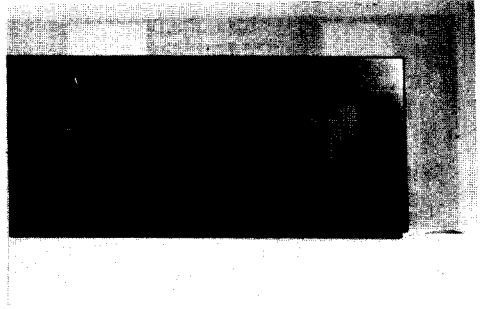


그림 16. “RDS TEST”를 표시한 수신기
 Fig. 16. Receiver that display “RDS TEST”.

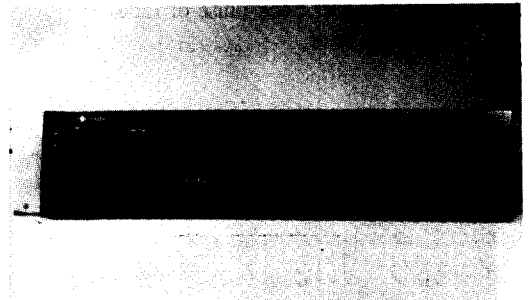


그림 17. “99.7MHz” 동조를 표시한 수신기
 Fig. 17. Receiver tuned at “99.7MHz”.

를 해석하고, 수신 성능을 평가하였다. 제안한 복조기의 비트 에러 확률이 10^{-5} 이하이기 위해서는 7dB이상의 신호 대 잡음비가 필요함을 알았다. 복원한 데이터의 움셋어와 PI 코드를 이용하여 그룹 및 블럭동기를 맞추고 단축 순회 부호화된 디지털 라디오 데이터의 에러를 정정하는 복호기를 제안하였다. 그리고 동기화기용 고속 클럭 발생기의 클럭 속도를 41.6667kHz로 하여 EBU 규격의 3.35kHz이상의 클럭 속도를 만족하였다. 제안한 복조기의 복호과정을 컴퓨터 시뮬레이션하였다. 그 결과 단축 순회 부호화된 라디오 데이터의 에러 정정 능력을 확인하였다. 또한, 정정된 디지털 라디오 데이터를 시간 축에서 16배 압축하여 블럭단위의 처리 효율성을 개선하였다. 실험 평가 결과 제안한 수신기가 라디오 데이터 신호를 정확히 복원, 처리함으로써 EBU의 RDS 수신 규격을 만족함을 확인하였고, 모든 시스템은 일반 조합 논리 회로로 구성하였다.

參 考 文 獻

[1] “Specifications of the radio data systems RDS for VHF/FM sound broadcasting,” *EBU document Tech. 3244-E*, Mar. 1984.

- [2] S.R. Ely & D. Kopitz, "Design Principle for VHF/FM radio receivers using EBU radio data system RDS," *EBU review* no. 204, 1984.
- [3] J.Mielke & K.H. Schwaiger, "Progress with the RDS system and experimental results," Reprinted from EBU Review Technical no. 217, 1986.
- [4] Peterson. W.W., & Brown, D.T., "Cyclic codes for error detection," *Proc. of the IRE*, no. 49, pp. 228-235, Jan. 1961.
- [5] Kasami, T., "Optimum shortened cyclic codes for burst error correction," *IEEE Trans. on the Information Theory(IT9)*, no. 4, pp. 105-109, 1963.
- [6] 김기근, 허동규, 김주광, 유홍균, 배현덕, 박우룡, 채홍인, 이종하, "라디오 데이터 수신 시스템 개발에 관한연구(I)," 한국통신학회 논문집, 16-8, 1991.
- [7] 김기근, 허동규, 김주광, 유홍균, 배현덕, 박우룡, 채홍인, 이종하, "라디오 데이터 수신 시스템 개발에 관한 연구(II)," 한국통신학회 논문집, 16-8, 1991.
- [8] 김기근, 허동규, 김주광, 유홍균, 배현덕, 이종하, "라디오 데이터 수신 시스템의 디지털 복조회로 설계와 그의 성능 평가에 관한 연구," 한국통신학회 논문집, 16-4, 1991.
- [9] Ki-Keun Kim, Dong-Kyu Heo, Ju-Koang Kim, Heunggyoon Ryu "Signal detection of VHF/FM digital data system," KOREA-JAPAN JOINT SYM. on Acoustice, July, 1991.
- [10] 김기근, 허동규, 김주광, 유홍균, "라디오 데이터 시스템의 디지털 에러정정," 한국음향학회 학술논문발표지, 11, 1991.
- [11] 김기근, 허동규, 김주광, 유홍균, "시간영역 압축방법에 의한 라디오 데이터 수신 신호의 데이터 복원과 처리," 대한전자공학회 하계학술발표지, 6, 1991.

 著 者 紹 介



金 基 根 (正會員)

1967年 1月 3日生. 1990年 2月 충북대학교 공과대학 전자공학과 공학사. 1992年 2月 충북대학교 대학원 전자공학과 공학박사. 1992年 8月 현재 국방과학연구소 재직중.(연구원) 주관심분야는 통신

시스템, 신호처리 등임.



柳 興 均 (正會員)

1959年 7月 10日生. 1982年 2月 서울대학교 전자공학과 공학사. 1984年 2月 서울대학교 전자공학과공학석사. 1989年 2月 서울대학교 전자공학과 공학박사. 1983年 1月~1983年 11月 전자통신연구소 연

구원. 1988年 2月~1992年 8月 현재 충북대학교 전자공학과 조교수. 주관심분야는 디지털 통신공학, 신호처리 등임.