

# 라이시안 페이딩 채널에서 경성판정과 연성판정을 채용한 DTMF 변조방식에 대한 최적의 RS 부호

정희원 송문규\*, 김응배\*\*, 박주연\*

## Optimum Reed-Solomon Codes for DTMF Modulation with Hard Decision and Soft Decision in Rician Fading Channels

Moon Kyou Song\*, Eung Bae Kim\*\*, Ju Yeon Park\* *Regular members*

### 요 약

DTMF 신호방식은 빠르고 용이한 다이얼링을 제공하며, 임의의 중앙 서비스에 접속이 가능하며, 원격 예금, 컴퓨터 접속, 무선 CATV 원격 제어 등과 같은 원격 제어 전화서비스를 제공하므로 여러 가지 다양한 시스템에 대한 신호 및 제어 방식으로 보편적인 방법이 되어 왔다. 이동통신 시스템에서도 DTMF 신호방식의 사용은 역시 요구되나, 이동무선 통신 채널은 선택도우잉과 페이딩에 민감하므로, 페이딩 채널에서 신뢰성있는 통신을 보장하기 위해 DTMF 변조와 잘 정합되는 RS 부호를 고려할 수 있다. 본 논문에서는 라이시안 페이딩 채널에서 경성판정과 소실 복호를 위한 연성판정 복호에 대하여 비코히어런트 복조를 사용한 RS 부호화 및 비부호화 DTMF 변조의 성능에 대한 해석을 제시하고, 광범위한 Rician 채널 변수 상에서 비트 오류율 성능지수로 하여 경성 판정 및 연성판정 복호를 통한 최적의 RS 부호를 결정하였다.

### ABSTRACT

DTMF signalling has been an universal method of signalling and control for the various systems because it offers faster, easier dialing to the customers, makes possible access to certain centralized services, and permits remotely controlled telephone services such as banking, computer access, and remote control for wireless CATV network. In mobile communications systems, the use of DTMF signalling is also required, but the mobile radio channels are subjective to shadowing and fading. Thus in order to secure reliable communications in fading channels, RS codes are considered, which is well matched to DTMF modulations. In this paper, An analysis of coded and uncoded DTMF performance in Rician fading channels using noncoherent demodulation with Reed-Solomon(RS) codes for both hard decision and soft decision for erasure decoding is presented. Optimum RS codes for both hard decision and soft decision decoding are determined using bit error probability as performance measure for a wide range of Rician channel parameters.

### I. 서 론

사회가 발달하고 통신의 기능이 확대됨에 따라 전화를 이용하여 제공받을 수 있는 정보가 다양해지고

입자의 이용이 나날이 늘어가고 있다. 또한 가입자들의 요구에 의해 새로운 정보를 제공하는 서비스 시스템이 늘어가고 있는 추세에 있다. 이동 가입자는 이미 구현된 이러한 서비스 시스템을 이용할 수 있어야 한다.

\* 원광대학교 전기전자공학부(mksong@wonnms.wonkwang.ac.kr) 정희원, \*\* 한국전자통신연구소 이동계통부 선임연구원(ebkim@etri.re.kr) 정희원  
논문번호: 98160-0411, 접수일자: 1998년 4월 11일

\*이 논문은 1997년도 한국전자통신연구원과 원광대학교 교비의 일부 지원에 의해서 연구됨.

서비스 시스템에서 제공하는 이러한 정보의 이용은 가입자 전화기에서 복합 주파수 부호(DTMF: dual tone multi-frequency) 신호를 전송하여 제공받게 되는데 이동통신망에서는 교환기에서 디지털 신호를 분석하여 서비스 시스템으로 전송하여 줌으로써 가입자가 원하는 정보를 제공받을 수 있도록 해준다.

약 30년 전에 소개된 DTMF 신호방식은 보다 편리하고 효율적이며 신호전송에서 높은 신뢰성을 제공하는 경제적인 전송 수단이다. 이 방식의 장점은 데이터는 임의의 DTMF 키패트를 통해 전송이 가능하며, 모뎀이나 음향커플러 및 어떠한 특수 인터페이스 장비가 요구되지 않는데 있다. 다만 모뎀 방식에 비해 제한된 전송속도와 한정된 문자집합을 가진다는 결점을 가지고 있지만 이러한 단점이 시스템 성능에 영향을 주지 않는 많은 응용 분야들이 존재한다. 예를 들면 가정의 난방제어, 유료 TV, 가정자동화 등에서 뿐 아니라 산업 분야의 데이터 로깅, 무선 송신기 등과 같이 원격지에 설치되어 있는 장치의 제어 등과 같은 원격 제어 분야들이 이에 속한다[1].

이와 같이 DTMF 신호방식의 응용분야는 광범위하며, 혁신적인 기술진전에 따라 전통적인 PSTN 망, ISDN 망과 각종 원격 제어 통신망 뿐 아니라 무선 이동 통신망 등의 분야에까지 그 영역이 다양해지고 확대되는 추세에 있다[1].

다양한 데이터 전송 분야에서 그 응용이 더욱 확대 될 것으로 기대되는 DTMF 신호 방식에서 보다 신뢰성 있는 통신 수단을 보장하도록 하는 것은 매우 의미 있는 일이다. 특히 웨도우잉과 페이딩과 같은 채널의 영향을 받기 쉬운 이동통신 환경에서 DTMF 신호방식에 RS (Reed-Solomon) 오류정정 부호를 적용하는 방안을 고려하였다. RS 부호는 블록부호로서 DTMF와 효율적으로 정합될 수 있다. 본 논문에서는 저속 페이딩 채널에 대한 DTMF 신호방식의 성능에 대하여 논의가 이루어질 것이며, 경성판정과 연성판정 복호의 경우 주어진 채널 모델에 대하여 비트오율을 최적화하는 RS 부호를 구하고자 한다.

## II. 비부호화 성능

DTMF 신호는 음성대역 내의 고주파수대와 저주파수대에 각각 4개 주파수로 구성된 서로 배타적인 두 주파수 그룹으로부터 하나씩 발췌된 정현파의 합성파들로서 16가지 다이얼링 디지털을 표시하며, 상세한 규격은 표 1과 같다[2].

DTMF 신호는 선택된 키버튼에 따라 키보드의 행과 열에 할당된 두가지의 합성 음조(tone)로 발생된다.

표 1. DTMF 신호의 수신규격

Table 1. DTMF signalling system specifications

항 목		DTMF
수신주파수	저군	697,770,852,941
	고군	1209,1336,1477,1633
동작주파수 범위[Hz]		±1.5% 이내
비동작주파수 범위[Hz]		±3.5% 이상
동작레벨[dBm0]		-3~-24/freq.
비동작레벨[dBm0]		-29/freq. 이하
레벨 twist[dB]		-8 ~ +4
신호지속시간[ms]		24 ~ 40
디지털간지속시간[ms]		40 이상
신호인터럽트[ms]		10

즉 DTMF 신호는 입력된 데이터에 따라 음성대역 내의 각각 4가지의 고군 주파수대  $w_1$  및 저군주파수대  $w_j$ 에서 하나씩 선정된 두 개의 주파수로 합성되는 16가지의 신호 중 하나로 발생된다. 이 주파수들은 고조파와 혼변조가 툰 대역에 위치하지 않도록 선정되어 있으며 음조 간의 분리율은 10% 정도가 된다. 키 버튼의 네 번째 열(1633 Hz의 음조에 해당)은 현재 전화기에서 통상적으로 사용되고 있지는 않지만, 일부 군용전화에서 사용되고 있으며, 자금 거래 단말기나 신용카드 검사기 및 일부 PBX나 CBX 시스템에서 사용되고 있다. 발생된 DTMF 신호는 각각 동일한 에너지를 가지는 다음 식과 같이 기술할 수 있다.

$$s_{ab}(t) = s_a(t) + s_b(t)$$

$$\text{where } a, b = 0, 1, 2, 3$$

$$= \sqrt{2P} \cos(w_i t + \phi) + \sqrt{2P} \cos(w_j t + \phi)$$

$$\text{where } i = 1, 2, 3, 4, j = 5, 6, 7, 8$$

DTMF 신호는 가청주파수를 사용하며, 전화선을 통해 사설교환기 및 중앙전화국에 직접적으로 전송되어 해당 디지털로 변환된다. DTMF 신호검출 알고리즘은 복잡한 기술을 필요로 하며 아울러 교환기에서 활발히 연구되고 있는 분야이다. 그 이유는 공칭주파수간 간격의 정교성이 요구되고, 가입자 선로의 길이와 품질 등이 불균일함에 따른 폭넓은 수신감도 범위가 확보되어야 하며, 특히 DTMF 신호와 함께 섞여서 수신

될 수 있는 발신음(dial tone) 혹은 음성신호 등에 대해서 영향을 받지 않아야 한다는 점 등 수신규격이 까다롭기 때문이다.

이러한 DTMF 신호의 검파를 위해서는 여러 가지 기법이 사용되어 왔으며, 원칙적으로 코히어런트 검파를 통해 최적의 성능을 얻을 수 있지만, 실제에 있어 수신기에서 전송된 직교 반송파의 각각에 대해 정밀한 주파수와 반송파 위상 기준이 있어야 하므로 실제 적용에 어려움이 있다. 따라서 비코히어런트 방식의 복조를 이용하여 경제적이고 간단한 수신기를 설계하게 된다.

지금까지 많은 시도가 이루어진 주요 알고리즘은 IIR 또는 FIR 디지털 필터 방식, DFT 방식, PARCOR(partial correlation) 성분 분석 방식, 영점교차 계수(zero crossing counter) 방식 등이 있으며, 구현에 있어서 MOS/LSI 기술의 발전에 따라 경제적인 절감이 가능해졌다.

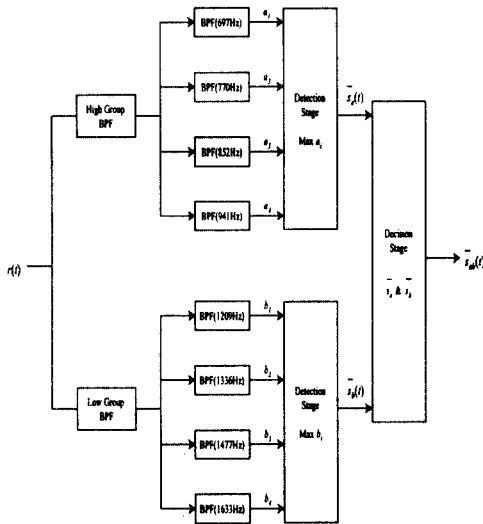


그림 1. DTMF 수신기의 구성도  
Fig. 1. Block diagram for DTMF receiver

채널을 통해 수신된 DTMF 신호에 대한 수신기는 그림 1에 보인 바와 같다. 채널을 통해 수신된 신호  $r(t)$ 는 DTMF 수신기에서 대역분리 필터를 통해 고군 주파수대 신호 성분  $sa(t)$ 와 저군 주파수대 신호 성분  $sb(t)$ 으로 분리되어 독립적으로 처리되며, 각 신호는 유효 DTMF 신호의 허용범위 내에 존재하는지의 여부가 검사된다. 고군 주파수대 및 저군 주파수대에서 유효 DTMF 신호로 선정된 신호들을 합성하여 원 신호  $sab(t)$ 를 복원하게 된다.

고군 주파수대 및 저군 주파수대 신호의 복원은 각각  $M(=4)$ 진 FSK의 비코히어런트 검파의 과정으로 모델링하면, 페이딩이 느린 경우 MFSK의 성능은 다음과 같이 느리게 변화하는 랜덤 진폭상에서 AWGN 성능을 평균하여 구할 수 있다. 실제적으로 저속 페이딩 가정은 페이딩 프로세스  $r$ 의 대역폭  $B_d$ 가 MFSK 심볼율  $R_s = 1/T_s$ 에 비해 작은 경우로서, 다음의 해석 결과에서  $B_d/R_s$ 는 통상적으로 0.1 이하의 경우를 가정하면[3]

$$P_e = \int_0^\infty P_{e|r} p(r) dr$$

$$= \frac{K_r + 1}{\gamma_s + K_r + 1} \int_0^\infty u I_0 \left( \frac{\sqrt{2\gamma_s K_r (K_r + 1)}}{\gamma_s + K_r + 1} u \right) \exp \left[ -\frac{u^2 (K_r + 1) + 2\gamma_s K_r}{2(\gamma_s + K_r + 1)} \right] [1 - (1 - e^{-\frac{u^2}{2}})^{M-1}] du \quad (2)$$

가 얻어진다. 여기서  $\gamma_s = E_s/N_0$ 는 MFSK 심볼에너지 대 (단축)잡음밀도비이고,  $K_r$ 은 수신기에서 산란 또는 다경로 신호성분의 전력에 대한 가시선 신호성분의 전력의 비를 나타내며,  $I_0(\cdot)$ 는 0차 수정 베셀 함수이다. 라이시안 채널 모델의 적용은 AWGN( $K_r = \infty$ )부터 레일리 페이딩( $K_r = 0$ )까지의 채널 조건을 포함한 모델링이 가능하게 한다. 중간 값의  $K_r$ 은 이동통신에서의 전파조건을 모델링하는데 유용하다. 즉,  $K_r = 10$  dB는 중상 고지에서 선투우잉 없는 지상 이동 채널의 경우에 대한 전파 조건을 모델링하는데 사용된다.  $K_r = 5$  dB는 유사하게 약간의 선투우잉이 있는 지상 이동 채널에 대한 경우와 낮은 고도의 항공 채널의 경우에 전파 조건을 모델링하기 위해 사용된다.

DTMF 신호의 복원에 있어서는 고주파수대 및 저주파수대에서 유효 DTMF 신호로 선정된 신호들을 합성하여 원 신호  $s_{dt}(t)$ 를 복원하게 된다. 고주파수대 신호 및 저주파수대 신호의 오류확률은 서로 동일하며 독립적이므로 전체적인 DTMF 심볼의 오류확률  $P_s(e)$ 은

$$P_s = 2P_e - P_e^2 \quad (3)$$

와 같이 구해진다.

직교 신호에 대해 비트오율과 심볼오율은 다음의 관계에 있다[4].

$$P_b = \left[ \frac{M}{2(M-1)} \right] P_s \quad (4)$$

그림 2는 AWGN과  $K_r=10dB$  및  $5dB$ 의 경우에 대한 저속 라이시안 페이딩 채널, 레일레이 페이딩 채널에서 고주파수대와 저주파수대에 각각 이상적인 비코히어런트 복조를 적용한 비부호화 DTMF의 성능을 보인 것이다. 페이딩이 심해질수록 요구되는 오류이 작아짐에 따라 전력면에서 잇점이 급속히 감소함을 알 수 있다.

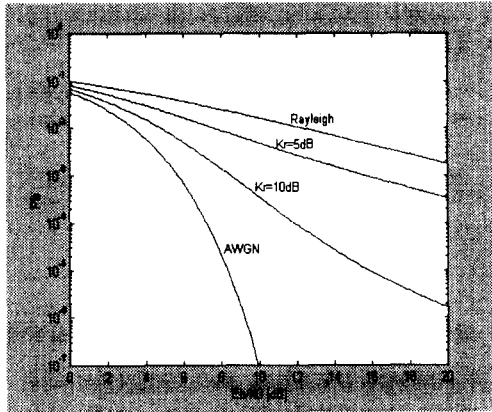


그림 2. 비부호화 DTMF의 성능  
Fig. 2 Performance of uncoded DTMF

### III. 부호화 성능

#### 1. 경성판정 복호의 성능

이 절에서는 리드솔론 부호화된 DTMF 복조의 성능을 제시하고 주어진 비트오율과 채널모델에 대한 최적의 RS 부호를 결정한다. 이때 부호의 길이는  $n=15$  심볼(각 심볼은  $b=4$  비트)이 되며 경성판정을 수행한다고 가정한다.

이 응용에 대한 RS 부호의 선택은 RS 부호어가 DTMF의 신호 집합에 쉽게 정합되므로 특히 적절하다. 페이딩 채널에 대한 이러한 전송기법의 적용을 위해서는 부호화 데이터가 긴 페이딩으로 인한 오류 연접으로 인한 심볼오류를 랜덤화하여 복호기 성능을 개선하기 위해 일반적으로 부호화한 데이터의 인터리빙이 요구된다[5]. 페이딩 채널에서 부호화된 성능을 구함에 있어 무한 길이의 인터리빙을 가정한다. 변수  $n$ 과  $k$  및 부호의 최소거리  $d_{min}$ 과 부호가 정정할 수 있는 심볼오류의 수  $t$  등은 각각  $n=2^4-1=15$ ,  $k=1,3,\dots,n-2$  및  $d_{min}=n-k+1$ 이고  $t=(n-k)/2$ 가 된다[5]. 이러한 부호화 변조 기법의 성능은 수신기가 수신심볼에 대한 경성

판정을 사용할 경우 해석적으로 계산될 수 있으며 다음과 같이 얻어진다[4].

$$P_b = \frac{8}{15} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n i \binom{n}{i} P_s^i (1-P_s)^{n-i} \right] \quad (5)$$

여기서  $P_s$ 는 식(3)로 주어지는 비부호화 심볼오율이며 여기서 신호대잡음비(SNR)  $\gamma_s$ 는 심볼에너지에서 비트에너지를 구하기 위해 부호율  $rc=k/n$ 로 스케일된다. 이상의 계산에서 당연히 페이딩이 심할수록 정해진 부호율에 대해 성능이 저하됨을 확인할 수 있다. 최적의 RS 부호를 라이시안 채널 모델 변수  $K_r$ 의 함수로 구하기 위해 식(5)를 이용하여  $P_b=10^{-5}$ 을 이루기 위해 요구되는  $E_b/N_0$ 를 결정한다. 그림 3은 DTMF 변조의 경우 AWGN, 라이시안, 레일레이 페이딩 채널에 대하여 각 RS부호에 대한 정보 심볼의 수  $k$ 의 함수로 이를 구한 것이다.

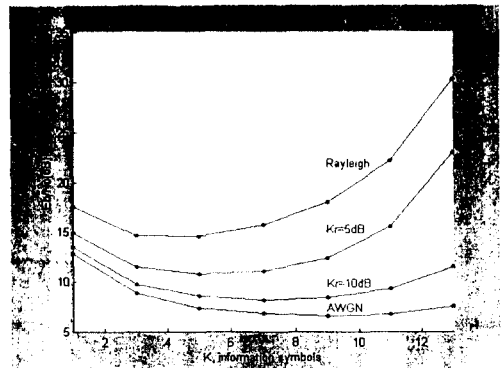


그림 3. DTMF 변조의 경우 RS부호에 대해  $P_b=10^{-5}$ 를 위해 요구되는  $E_b/N_0$

Fig. 3  $E_b/N_0$  required for  $P_b=10^{-5}$  for DTMF with RS coding with hard decision decoding

이 그림으로부터 AWGN 채널의 경우 최적의 부호율이 상대적으로 큼을 알 수 있으며 반면에 페이딩이 심해질수록 최적의 부호율이 감소함을 알 수 있다. 표 2는 이전에 논의된 채널 모델에서  $(15,k)$  RS 부호에 대한 최적의  $k$ 와 요구되는  $E_b/N_0$ 를 보인 것이다. 그림 4는 각각 AWGN과  $K_r=10dB$  및  $5dB$ 의 경우에 대한 저속 라이시안 페이딩 채널, 레일레이 페이딩

채널에 대한 최적의 RS 부호의 성능을 보인 것이다.

표 2. 경성판정 복호에 대해 최적의 RS 부호  
Fig. 2 Optimum RS codes for hard decision decoding

채널	최적의 RS 부호	요구 Eb/N0
AWGN	(15,9)	6.61849
Rician(Kr=10dB)	(15,7)	8.20993
Rician(Kr=5dB)	(15,5)	10.7712
Rayleigh	(15,5)	14.5712

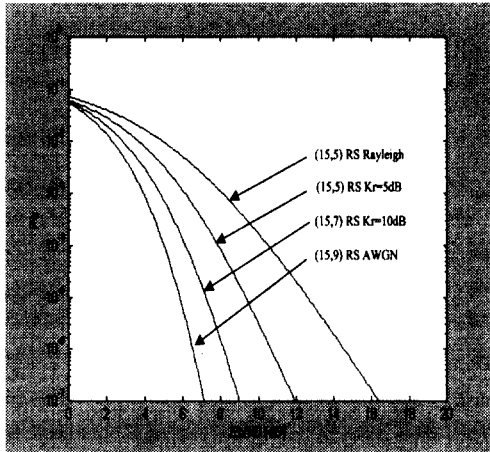


그림 4. DTMF 변조에 대한 최적의 경성판정 RS 부호의 성능

Fig. 4 Performance of optimum RS codes with hard decision decoding for DTMF modulation

2. 연성 판정 복호의 성능

이전 절에서 주목한 바와 같이 경성판정 복호는 페이딩이 심각해질수록 덜 효율적이므로 보다 효율적인 복호 방안에 대한 필요성을 제기한다는 점을 지적할 수 있다. 오류정정과 소실의 조합은 본질적으로 레일레이 페이딩 채널에 대한 개선된 성능을 산출할 수 있다.

부호단어 심볼 집합 GF(24)의 원소가 DTMF의 채널 심볼 좌표를 사용하여 전송된다고 하자. 이때 16진 균일 이산 대칭 채널(Uniform Discrete Symmetric Channel with Erasures: UDSC/E)을 가정하여 모든 옳지 않은 부호 심볼의 발생 확률은  $p$ 로 모두 동일하다고 가정한다. 이는 대부분의 2진 변조 방식과 직교 파형을 사용하는 비2진 변조방식에 대해서 상당한 가정이

대[5]. 부호단어 심볼의 소실 확률을  $s$  라 하고, 부호단어 심볼이 옳게 수신될 확률을  $t$  라 하면, 옳지않은 부호단어 심볼이 수신될 확률은  $15p = 1-t-s$  가 된다.

최소거리가  $d_{min}$ 인  $(15, k)$  RS 부호에서 소실복호를 적용한 연성판정 복호기의 비트 오류 확률  $P_b$ 는 수신된 부호단어가 복호기의 복호영역에 있지 않거나 잘못된 부호단어의 복호 영역에 들어갈 확률과 같게 되며, 이는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$P_b = \frac{8}{15} \left[ \frac{1}{n} \sum_{2i+j=t} \frac{(2i+j)}{2} \binom{n}{i} \binom{n-i}{j} s^i t^{n-i-j} (1-t-s)^j \right] \quad (9)$$

이 계산식에서 소실은 그 위치에 대한 정보가 주어지는 오류임을 고려하여, 하나의 소실은 1/2의 오류에 해당하는 것으로 간주하였다.

먼저 변조에 의해 부호단어 심볼 오류확률이 주어진 경우 발생 오류 중 일정 비율의 소실이 발생하는 경우를 가정하여 비트 오류를 산출한 결과 정해진 심볼 오류확률 내에서 심볼 오류에 비해 소실의 비율이 증가할수록 성능이 매우 향상되는 추세를 뚜렷이 볼 수 있었으며, 비트 오류정정과 소실의 조합은 개선된 성능을 산출한다는 사실을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 오류에 대한 소실의 비  $\rho$ 를 0부터 1까지 변화시켜가면서 소실 복호를 채용한 연성판정 RS 부호화 DTMF의 성능을 산출하였다. ( $\rho=0$  인 특

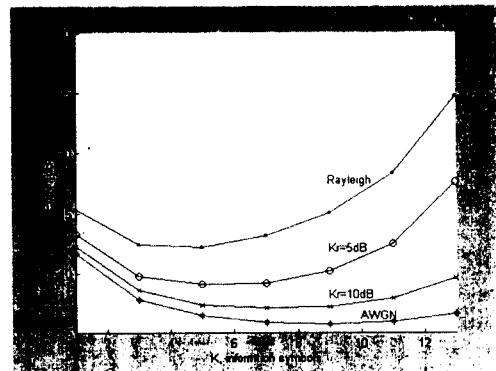


그림 5. 연성판정에 대한 최적의 RS 부호의 성능( $\rho=0.2$ )  
Fig. 5 Performance of optimum RS codes with soft decision decoding( $\rho=0.2$ )

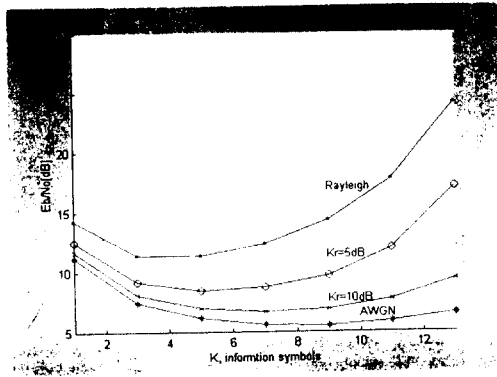


그림 6. 연성판정에 대한 최적의 RS 부호의 성능( $\rho=0.4$ )  
 Fig. 6 Performance of optimum RS codes with soft-decision decoding( $\rho=0.4$ )

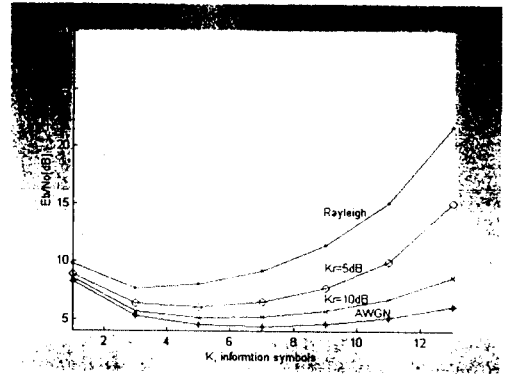


그림 8. 연성판정에 대한 최적의 RS 부호의 성능( $\rho=0.8$ )  
 Fig. 8 Performance of optimum RS codes with soft-decision decoding( $\rho=0.8$ )

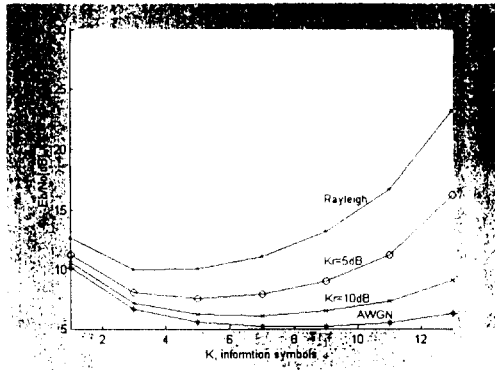


그림 7. 연성판정에 대한 최적의 RS 부호의 성능( $\rho=0.6$ )  
 Fig. 7 Performance of optimum RS codes with soft-decision decoding( $\rho=0.6$ )

수한 경우는 경성판정의 경우에 해당하며, 이 계산은 이전 절의 결과와 동일하다.) 이 계산에서는 역시 페이딩이 심할수록 성능저하가 심해지며, 부호율이 작을수록 성능개선 효과가 커짐을 확인할 수 있다. 또한 오류에 비해 심볼 소실 확률이 상대적으로 증가할수록 성능이 향상되는 경향을 볼 수 있었다. 앞 절에서와 마찬가지로 최적의 RS 부호를 라이시안 채널 모델 변수  $K_r$ 의 함수로 구하기 위해 정해진 비트오율 ( $P_b=10^{-5}$ )을 위해 요구되는  $E_b/N_0$ 를 결정한다.  $\rho=1.0$ 의 경우에는 기준 비트오율을  $P_b=10^{-7}$ 으로 하였다. 각 채널과 소실과 오류의 상대적 비율에 대한 이상의 결과를 그림 5, 6, 7, 8에 보였으며, 이로부터 최적의 RS 부호를 표 3과 같이 구하였다.

#### IV. 결 론

지속의 라이시안 페이딩 채널에 대하여 비코히어런트 복조를 적용한 DTMF의 성능을 제시하고, 연성

표 3. 연성판정 복호에 대해 최적의 RS 부호  
 Table 3. Optimum RS codes for soft decision decoding

	AWGN		Rician( $K_r=10dB$ )		Rician( $K_r=5dB$ )		Rayleigh	
	최적 부호	요구 $E_b/N_0$	최적 부호	요구 $E_b/N_0$	최적 부호	요구 $E_b/N_0$	최적 부호	요구 $E_b/N_0$
$\rho = 0.2$	9	5.718487	7	7.109932	5	9.071213	5	12.17121
$\rho = 0.4$	9	5.518487	7	6.709932	5	8.471213	5	11.37121
$\rho = 0.6$	7	5.209932	7	6.109932	5	7.571213	3	9.989700
$\rho = 0.8$	7	4.409932	5	5.171213	5	6.071213	3	7.689700

제시하였다. AWGN이나 레일레이 페이딩 채널에 대한 및 경성판정 리드솔로몬 부호화 성능에 대한 해석을 결과는 이의 특수한 경우로 쉽게 구할 수 있다. 또한 충분히 긴 인터리빙을 가정하여 주어진 비트 오류율 기준으로 라이시안 채널모델 변수의 함수로 최적의 RS 부호를 유도하였다.

AWGN 채널의 경우 최적의 부호율이 상대적으로 크음을 알 수 있으며 반면에 페이딩이 심각할수록 최적의 부호율이 감소함을 알 수 있다. 즉, 경성판정 복호는 페이딩이 보다 심각해질수록 덜 효율적이기는 하지만, RS 부호를 적용함으로써 얻을 수 있는 부호 이득이 상당히 크므로 이동 통신 채널에서 DTMF 변조를 이용한 신호 전송에 RS 부호를 적용하는 것은 매우 효과적임을 확인할 수 있다. 소실 복호가 가능한 연성판정 복호를 적용할 경우 RS 부호의 성능이 개선되며, 경성판정에 비해 소실의 비율이 10% 이상이면 약 2dB 이상 성능이 증가함을 보였다. 경성 판정과 연성 판정 복호의 두 가지 경우에 대하여 각 페이딩 채널에서 최적의 RS 부호를 구하였다.

### 참 고 문 헌

1. "Applications of the MT8870 Integrated DTMF Receiver," MITEL Application Note MSAN-108, 1993.
2. "An Introduction to Mitel DTMF Receivers," MITEL Application Note MSAN-106, 1993.
3. Ramon A. Khalona, "Optimum Reed-Solomon Codes for M-ary FSK Modulation with Hard Decision Decoding in Rician-Fading Channels", *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. 44, No. 4, April 1996.
4. Proakis, *Digital Communications*, 3rd ed., McGraw-Hill, Inc., 1995.
5. Stephen B. Wicker, and Vijay K. Bargava, *Reed-Solomon Codes and Their Applications*, IEEE Press, 1994.



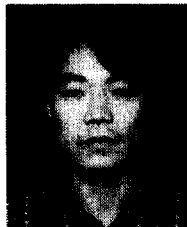
**송 문 규(Moonkyou Song) 정회원**  
 1988년 2월: 고려대학교 전자공학과(공학사)  
 1990년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1994년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과(공학박사)  
 1994년 3월~현재: 원광대학교 공과대학 전기전자공학부 조교수

1997년 10월~현재: 한국전자통신연구원 초빙연구원  
 <연구분야> 스펙트럼확산 통신, 무선이동통신, 채널 코딩, 통신회로 VLSI설계



**김 응 배(Eungbae Kim) 정회원**  
 1981년 2월: 고려대학교 전자공학과(공학사)  
 1983년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1983년 2월: 금성전기(주) 연구소  
 1988년 3월: 한국통신진흥(주)  
 1989년 11월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

<연구분야>CDMA 이동통신, IMT-200, B-WLL 등



**박 주 연(Juyeon Park) 정회원**  
 1996년 2월: 원광대학교 제어계측공학과(공학사)  
 1998년 8월: 원광대학교 대학원 제어계측공학과공학석사)

<연구분야> 디지털통신, 통신 회로의 VLSI설계