

페이딩 채널에서의 9 QPRS 시스템의 오율 특성

이 광렬* 강 영흥* 조 성준*

* 한국항공대학 통신정보공학과

Error Rate Performance of 9 QPRS System in Fading Channel

Gwang Ryel LEE,* Young Heung KANG,* Sung Joon CHO*

* Dept. of Telecom. and Information Eng., Hankuk Aviation College

ABSTRACT : QPRS (Quadrature Partial Response Signaling) technique is very attractive because it has little ISI and requires narrow bandwidth compared with frequently used QAM technique, and error detection is accomplished without introducing any redundant bits at the transmitter. In this study, theoretical analysis of the performance of 9 QPRS is presented in the environment of additive white gaussian noise and fading. The effect of noise and fading on 9 QPRS system performance has been evaluated and shown in graph as parameters of carrier to noise ratio, and fading figure.

1. 서 론

사회가 급격히 발전하고 컴퓨터의 사용이 일반화됨에 따라서 신속하고 정확한 정보에 대한 사회적 욕구가 급격히 상승하고 있다. 이러한 수요에 의한 정보 통신 산업의 발전으로 다가오는 사회는 정보 통신 산업이 핵심을 이룰 것이다.

미래의 고도 정보화 사회의 실현은 전자 기술, 컴퓨터 기술, 통신 기술이 결합된 형태로 나타날 것이다. 이를 위해서는 통신망의 전자화 및 디지털화가 선결되어야 한다.

이러한 시대적, 사회적 요구에 부응해서 선진 각국에서는 디지털 통신 방식의 개발과 실용화에 대한 연구를 활발히 진행하고 있다.

본 연구에서는 기존의 디지털 통신 방식 중 부호간 간섭이 거의 없고, 필요 전송 대역이 좁으며, 펄스

의 규칙성을 이용한 여러 검출이 가능한 PRS (Partial Response Signaling) 방식을 도입하여[1]-[3] 가우스 잡음하에서 페이딩의 영향을 오율의 관점에서 살펴보고자 한다.

2. 해석 모델

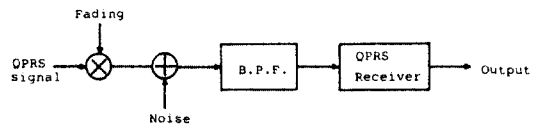


그림 1. 해석 모델

Fig. 1 Analysis model.

본 연구에서는 가우스 잡음하에서 페이딩에 의한 9 QPRS 신호의 오율 특성을 살펴보기 위해서 그림 1 과 같은 해석 모델을 설정하였다. 잡음은 협대역

가우스 잡음이고, 페이딩 채널로는 m -분포 페이딩 채널을 가정한다.

$$P(R) = \frac{2m^m \cdot R^{2m-1} \exp(-\frac{mR^2}{\Omega})}{\Gamma(m) \cdot \Omega^m} \quad (1)$$

여기서, m : 페이딩 지수

$\Omega/2$: 신호의 평균 전력

식(1)에서 $m=1$ 인 경우는 Rayleigh 분포에 해당하므로 분포식 (1)은 Rayleigh 분포의 일반화된 형태로 간주된다.

9 QPRS 신호가 가우스 잡음의 영향을 받을 경우 각 부호점의 발생 확률을 고려한 평균 오류율 P_e 는 다음과 같다 [6].

$$P_e = \frac{3}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{\rho}}{2}\right) \quad (2)$$

단, $\rho = \frac{P_{av}}{\sigma_n^2}$: 평균 반송파 전력 대 잡음 전력비(CNR)

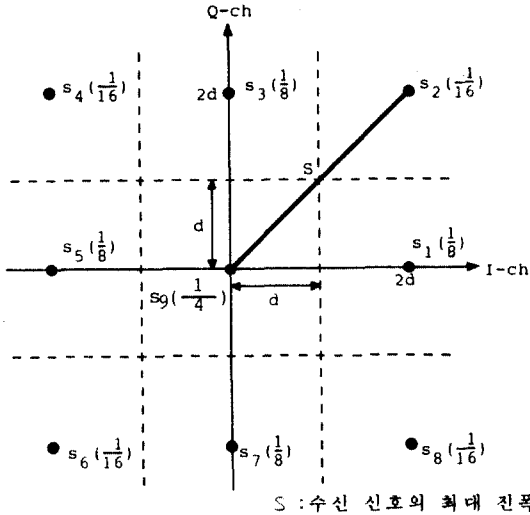


그림 2. 9 QPRS 신호의 신호 공간상 표현

Fig. 2 Space diagram of transmitted 9 QPRS signal.

그림 2는 격자상 부호점 배치를 갖는 9 QPRS 신호를 신호 공간상에 표시한 것이다. 일반적으로, QAM 시스템의 각 부호점의 발생확률을 등확률로 가정하면 QPRS 시스템의 각 부호점의 발생확률은 각 비트의 조합 (S_1, \dots, S_9)에 따라서 그림 2에서와 같이 달라진다 [4].

3. 페이딩에 의한 영향 해석

장거리 지상 마이크로파 통신에서 Rayleigh 페이딩과 같은 고속 페이딩(fast fading)은 시스템의 성능을 심각하게 열화시킨다. 그러나 실제 전송 채널상에서 페이딩은 Rayleigh 페이딩 보다 강하거나 약하게 발생할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 HF-SHF 대의 넓은 범위에 걸쳐서 잘 적용되고, 여러가지 조건하에서의 대류권 페이딩에도 적용되는 나카가미 교수의 m -분포 페이딩을 도입한다. 페이딩을 받는 신호의 진폭 R 의 확률 밀도 함수 $p(R)$ 은 다음과 같다[5].

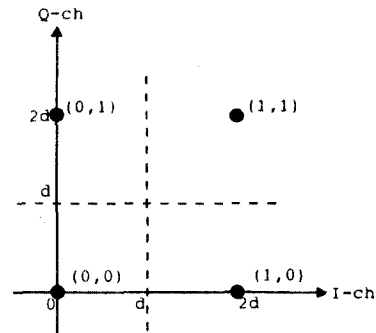


그림 3. 9 QPRS 신호의 직교 좌표 표현 (I-상한)
Fig. 3 The orthogonal coordinate representation of 9 QPRS signal.

그림 3은 격자상 부호점 배치를 갖는 9 QPRS 신호의 부호점중 I-상한의 부호점만을 표시한 것이다.

잡음에 의한 각 부호점의 부호 오류율과 페이딩 채널 하에서의 부호 오류율을 각각 $P_e(x,y)$, $P_{eF}(x,y)$ 로 표시한다. 여기서 I-ch과 Q-ch이 서로 독립이라고 가정하면

$$P_e(x,y) = P_e(x) + P_e(y) \quad (3)$$

$$P_{eF}(x,y) = P_{eF}(x) + P_{eF}(y) \quad (4)$$

로 된다. 그러므로 각 신호점을 I-ch과 Q-ch로 분해하여 계산할 수 있다.

먼저 잡음에 의한 I 축상의 각 부호점의 부호 오류 $P_e(x)$ 와 m-분포 페이딩을 받은 I 축상의 각 부호점의 부호 오류 $P_{eF}(x)$ 는 각각 다음과 같다.

$$P_e(x) = \int_{-\infty}^{(2x-1)d} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(n_c - R_x)^2}{2\sigma^2}\right) dn_c + \int_{(2x+1)d}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(n_c - R_x)^2}{2\sigma^2}\right) dn_c$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{R_x - (2x-1)d}{\sqrt{2}\sigma}\right) + \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{(2x+1)d - R_x}{\sqrt{2}\sigma}\right) \quad (5)$$

$$P_{eF}(x) = \int_0^{\infty} P_e(x) \cdot p(R_x) dR_x \quad (6)$$

따라서 페이딩 채널하에서 가우스 잡음의 영향을 받은 전 부호점에 대한 평균 오류 P_{eF} 를 구하면

$$P_{eF} = 4P_{\text{Rob}}(1,1) \cdot P_{eF}(1,1) + 2P_{\text{Rob}}(1,0) P_{eF}(1,0) + 2P_{\text{Rob}}(0,1) P_{eF}(0,1) + P_{\text{Rob}}(0,0) P_e(0,0)$$

$$= P_{eF}(1) + P_e(0) \quad (7)$$

$P_e(0)$ 와 $P_{eF}(1)$ 은 식(5)와 식(6)으로부터 각각 다음과 같다.

$$P_e(0) = \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{P}}{2}\right) \quad (8)$$

$$P_{eF}(1) = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{|R_1 - d|}{\sqrt{2}\sigma}\right) \cdot \frac{2m^m \cdot R_1^{2m-1}}{\Gamma(m) (2d)^{2m}} \exp\left(-\frac{mR_1^2}{(2d)^2}\right) dR_1 \quad (9)$$

그러므로 평균 오류 P_{eF} 는 아래와 같다.

$$P_{eF} = \operatorname{erfc}\left(\frac{\sqrt{P}}{2}\right) + \int_0^{\infty} \operatorname{erfc}\left(\frac{|R_1 - d|}{\sqrt{2}\sigma}\right) \cdot \frac{m^m \cdot R_1^{2m-1}}{\Gamma(m) \cdot (2d)^{2m}} \exp\left(-\frac{mR_1^2}{(2d)^2}\right) dR_1 \quad (10)$$

여기서, ρ : 평균 반송파 전력 대 잡음전력비 (CNR)

m : 페이딩 지수

윗 식(9)에서 $\operatorname{erfc}(|x|)$ 를 취한 이유는 다음과 같다. 함수 $\operatorname{erfc}(x)$ 는 x 가 음, 양수의 그 어느 값을 가질 수 있으나, 본 연구에서 구하고자 하는 오류 P_{eF} 는 페이딩을 받은 신호가 원래 신호점 좌우에 설정된 기준의 판정 레벨을 넘어갈 가우스 확률 밀도 함수의 tail의 면적 계산에 해당되므로 함수 $\operatorname{erfc}(x)$ 에서 x 의 값이 반드시 양수이어야 하기 때문이다.

4. 수치계산 및 검토

앞에서 유도한 가우스 잡음하에서 m-분포 페이딩 채널에서의 QPSK신호의 오류식을 이용하여 평균 반송파 전력 대 잡음 전력비(CNR)와 페이딩 지수(m)를 파라미터로 하여 수치 계산한 결과를 그림 4에 나타냈다. 이 그림으로 부터 다음과 같은 점을 알 수 있었다.

- (1) 7dB 미만의 낮은 CNR에서는 페이딩보다도 잡음에 의한 영향이 시스템을 더 열화시킨다는 것을 알 수 있었으나 7dB 이상의 CNR에서는 페이딩의 영향이 크게 나타남을 알 수 있었다.
- (2) m=1 인 경우, 이는 페이딩이 매우 강한 경우로서 Rayleigh 페이딩에 해당되는 경우인데 이때에는 CNR을 증가시켜도 거의 성능 개선을 얻을 수 없었다. 이와같은 경향은 m < 10 경우에도 마찬가지이다.
- (3) 그러나 페이딩의 세기가 점차 약해짐에 따라 즉, m > 20 에서는 CNR의 증가에 따라 성능이 크게 개선되는 것을 알 수 있었다.

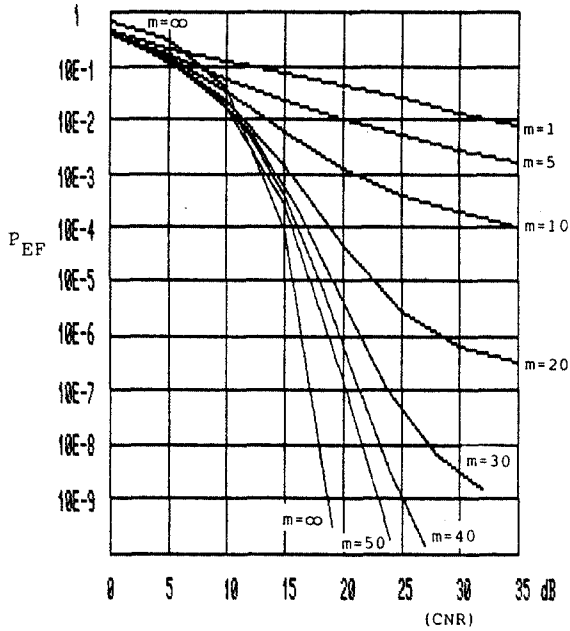


그림 4. m의 변화에 따른 9 QPRS 신호의 오류 특성
 Fig. 4 Error rate performance of 9 QPRS signal with various fading figure m.

참 고 문 헌

[1] 조 성 준 역, 데이터 전송, 한국항공대학 출판부, pp.60-71, 1984.
 [2] P.Kable, S.Pasupathy, "Partial response signalings," IEEE Trans. on Com., vol.COM-27, pp.921-934, Sept.1985.
 [3] K.Feher, Digital communication : Microwave applications, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, ch.7,1981.
 [4] G.J.Sundal, "Error rate of QPRS evaluated in amplitude-phase space," IEEE Trans. on Com., vol.COM-27, pp.1802-1805, Dec.1979.
 [5] M.Nakagami, "The m-distribution A general formula of intensity distribution of rapid fading," in Statistical Method in Radio Waves

Propagation, W.C.Hoffman ed., New York:Per-gamon Press, 1960.

[6] 이 광 렬, 조 성 준, "다차 직교 PRS신호에 대한 잡음과 간섭 및 캐리어 음쇠의 영향," 한국전자 .전기공학회 종합학술대회 논문집, pp.869-873, 1987년 7월.