

TIMING JITTER 가 COMPACT-SQAM 의 성능에 미치는 영향

박 일근 , 서 종수
삼성종합기술원 정보시스템 연구소

The Impact of Timing-Jitter on the Performance of Compact-SQAM

Il-Keun Park and Jong-Soo Seo

SAMSUNG ADVANCED INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Abstract

The impact of timing jitter on the probability of error performance(Pe) of Compact-SQAM is investigated via computer simulation. As examples of timing error, we consider four types of sampling deviation such as static offset, sinusoidal deviation, uniform deviation and Gaussian deviation. It is found that the Compact-SQAM system with $A=0.7$ has the best Pe performance in the presence of timing error. Our computer simulation result in AWGN linear channel environment indicates that Compact-SQAM is less sensitive all types of timing jitter compared to conventional band limited QPSK ($\alpha=0.4$), and maintains good Pe performance even at high symbol timing error.

1. 서 론

위성, 이동체 무선, 지상 마이크로 웨이브 망을 이용한 디지털 통신에 있어서 수신기에서는 송신된 부호(symbol)들에 정확히 위상이 동기된 클럭 정보를 필요하게 된다. 특히, 대역폭이 심하게 제한된 채널이나, 다중 증계장치가 포함된 통신 망에서 운용되는 경우 작은 시간 오차라도 전체 성능을 크게 저하시키게 되므로 클럭복원(clock recovery)은 시스템 성능을 결정하는 중요한 요소가 된다.[1]

Timing 지터는 송수신기와 위성등 증계장치에 사용된 기준 발진기의 불안정, 전송로상의 잡음에 의한 신호의 변형, 수신기 클럭 복원기의 불안정등의 원인에 의하여 발생되는데[2], 고전위 다차 진폭변조(M-

QAM) 시스템에 있어서는 roll-off 요소 α 가 감소됨에 따라, 그리고 다차 정도가 증가(16-QAM, 64-QAM, 256-QAM,...) 됨에 따라 수신 eye의 횡측 열림 상태가 감소하므로 timing 지터에 더욱 민감하게 된다.[3]

본 논문은 백색 가우시안잡음(AWGN) 채널에서 대역폭 및 전력 효율적인 변조 방법으로 제시 하였던 Compact-SQAM [4]의 성능에 관한 연구의 연장으로서, timing 지터가 존재하는 상황에서 본 MODEM의 오류 확률(Pe) 성능을 computer simulation으로 분석하였다. Timing 지터의 예로 본 연구에서는 정적인 오차(static offset), 일정형태 분포(uniform deviation), sinusoidal 분포, Gaussian 분포등 4가지 형태의 샘플링 시간 편차를 고려 하였다.

II. Computer Simulation Model.

[그림1]은 Compact-SQAM system의 구성도를 보인 것이다. s(t)는 참고문헌 [5]에 나타난 SQAM의 기저 대역 등가 신호 발생기의 임펄스 응답이고, h1(t)와 h2(t)를 각각 Compact-SQAM 변조기의 premodulation 여파기, 수신기의 postdetection 여파기의 임펄스 응답이라 할때, 기준 반송파 위상 복원 오차 Φ 를 가진 동기 수신기에 의해 복조된 Compact-SQAM의 신호는 다음과 같이 표현 된다.

$$y_I(t) = \sum_n a_n g(t-nTs) \cos \Phi - \sum_n b_n g(t-T-nTs) \sin \Phi + n_I(t) \quad \text{-----(1)}$$

$$y_Q(t) = \sum_n a_n g(t-nTs) \sin \Phi + \sum_n b_n g(t-T-nTs) \cos \Phi + n_Q(t) \quad \text{-----(2)}$$

여기서

$$g(t) = \int \int s(t-\sigma-\tau) h_1(t) h_2(t) e^{j\omega\tau} d\sigma d\tau \quad \text{-(3)}$$

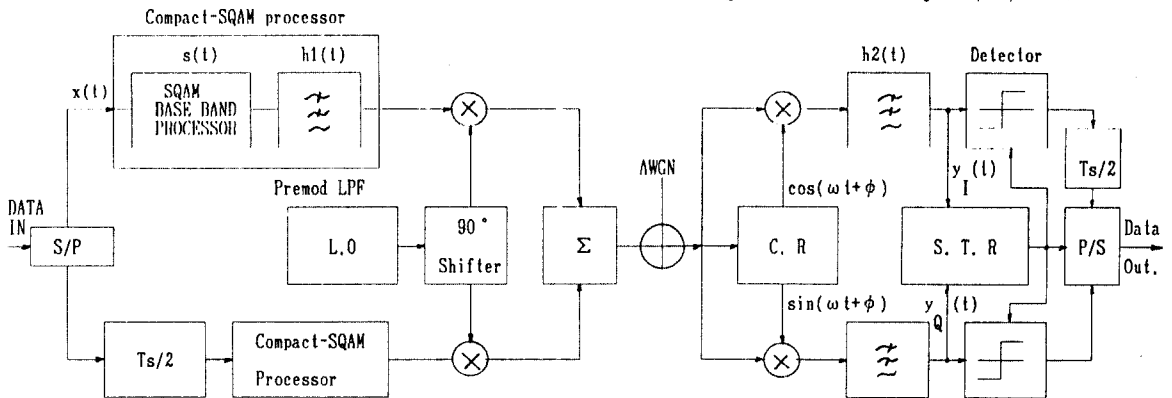
이고, T, Ts(Ts=2T)는 각각 bit와 symbol 주기이며, $n_I(t)$, $n_Q(t)$ 는 I, Q 각 채널에서 변위 σ^2 을 갖는 Gaussian 잡음으로,

$$n(t) = n_I(t) + j n_Q(t) = \int n(t-\tau) e^{j\omega(t-\tau)} h_2(\tau) d\tau \quad \text{---(4)}$$

이다. 전송 채널 및 클럭 복원기의 불완전성에 의하여 샘플링 시간 오차 $\Delta T(t)$ 가 발생 하였다면, 수신된 신호 $y_I(t)$ 와 $y_Q(t)$ 는 각각 $t = nTs + \Delta T(t)$, $t = nTs + T + \Delta T(t)$ 에서 샘플링이 이루어질 것이다. 이 최적 샘플링 시간으로 부터의 오차는 eye의 열린 정도를 줄인 결과가 되어 오류가 발생 될 확률이 커진다. 따라서 이 오류 확률을 그 채널로 송신된 전체 데이터 sequence 동안 detector에 인가되는 Gaussian 잡음전력에 의해 발생 되는 오류 확률과의 평균을 구하면 Compact-SQAM의 평균 부호 오류 확률을 얻을 수 있다.

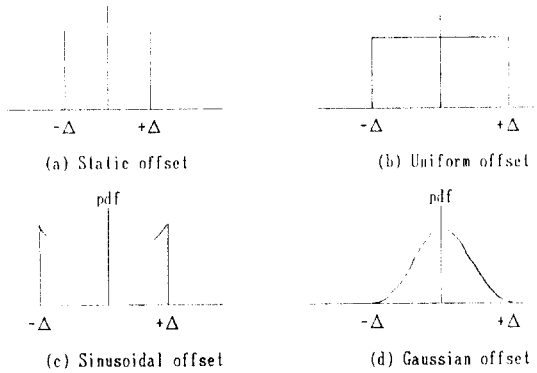
[그림2]는 수신기의 클럭 복원기 출력에서 나타날 수 있는 샘플링 시간 지터의 4가지 예를 보인 것이다. 정적 오차는 편차 Δ 만큼 클럭이 최적 시점을 중심으로 일정량 이동된 것이고, 샘플링 시점이 (- Δ , Δ)의 구간을 일정하게 분산 되어있는 것이 일정 형태 편차이며, 편차 Δ 에 따른 sinusoidal 분포, Gaussian 분포를 갖는 샘플링 시간 오차는 다음과 같이 각각 그 진폭밀도 함수로 표현 된다.

$$P_{sin}(x) = \begin{cases} \frac{1}{\pi \Gamma(\Delta^2 - x^2)} & \text{for } |x| < \Delta \quad \text{---(5)} \\ 0 & \text{for } |x| > \Delta \end{cases}$$



C.R : Carrier Recovery S.T.R : Symbol Timing Recovery

[그림1] Compact-SQAM system의 구성도.



[그림2] 분포형태별 샘플링 오차.

$$P_{Gauss}(x) = \frac{1}{\Delta/2 \sqrt{2\pi}} e^{(-x^2/\Delta^2)} \quad \text{-----(6)}$$

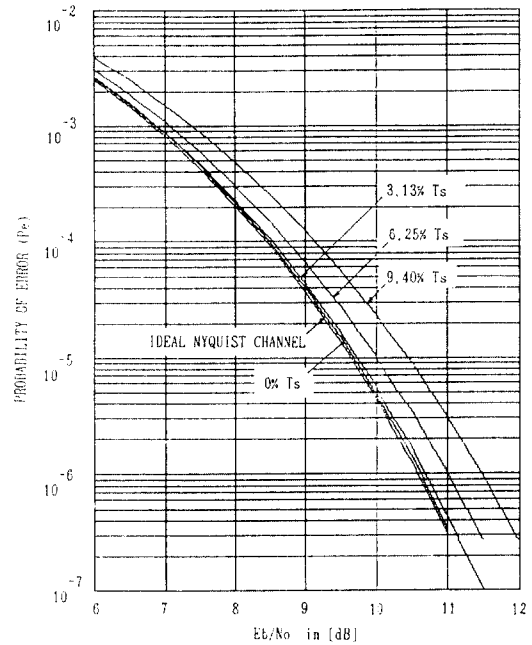
III. Timing Jitter 가 존재하는 상황에서

Compact-SQAM 의 성능.

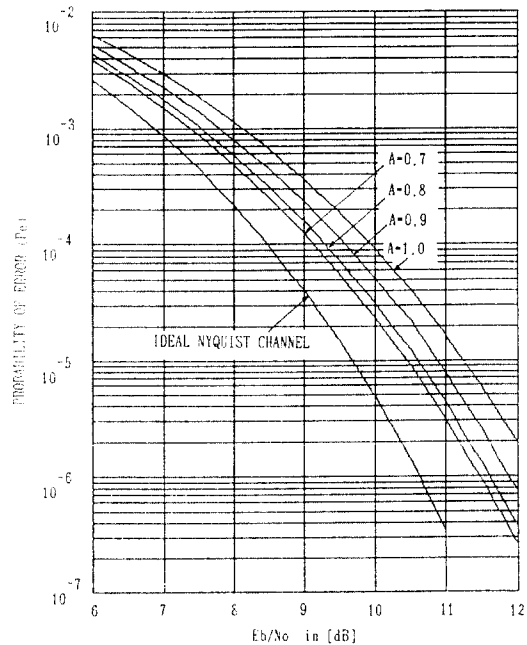
AWGN 상황의 선형 전송 채널에서 반송파 복원과 클럭 재생이 완벽히 이루어졌을 경우, 증첩도 $A=0.7$, premodulation 여파기 3dB 대역폭 및 pole 수가 각각 $f_c=1.3f_n$ (f_n =Nyquist 최소 주파수, $N=6$ 인 butterworth 형태의 여파기를 사용하여 전송하고, $f_{crx}=1.0f_n$, $N_r=4$ 인 butterworth 형태인 여파기를 사용하여 수신하는 Compact-SQAM system이 제일 좋은 오류확률 성능을 가지므로[4]. 이 system의 클럭 복원 회로에서 정적 샘플링 시간오차가 발생하였을 경우 Compact-SQAM의 오류확률 성능(P_e)을 [그림3]에 보였다. 이때 반송파 복원은 완벽히 이루어졌다고 가정한다.

[그림4]는 $f_c=1.3f_n$, $N=6$ pole 인 Compact-SQAM system에서 정적 샘플링 시간오차가 symbol 주기(T_s)의 9.4% 발생 하였을때 증첩도 A 에 따른 오류확률 성능을 나타낸 것으로, $A=0.7$ 인 경우가 제일 최적인 오류 확률 성능을 보이고 있다.

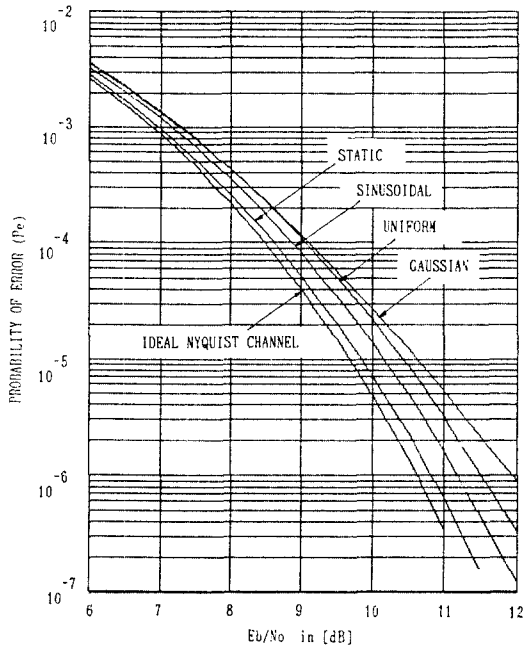
[그림5]는 클럭 복원기의 출력에 복원된 클럭의 timing이 rms 값으로 14° 샘플링 시간편차를 가질 경우 정적 오차, 일정형태 분포 오차, sinusoidal 분포 오차, Gaussian 분포 오차등 4가지 지터 형태에 따른



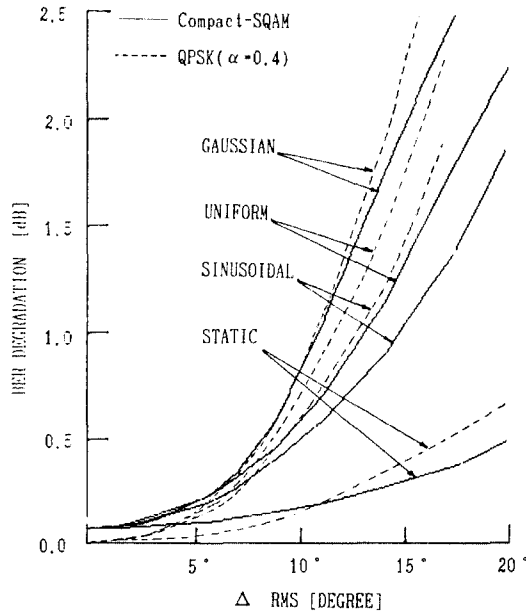
[그림3] Compact-SQAM 의 정적 시간오차에 따른 오류 확률 특성. ($A=0.7$, $f_c=1.3f_n$, $N=6$ pole, $f_{crx}=1.0f_n$, $N_r=4$ pole butterworth LPF)



[그림4] Compact-SQAM 의 증첩도 A의 변화에 따른 오류 확률 특성. ($A=0.7$, $f_c=1.3f_n$, $N=6$ pole, Static offset 9.4% T_s)



[그림5] 샘플링 편차에 의한 시간 오차가 존재하는 상황에서 Compact-SQAM의 오류확률 특성. (rms=14°)

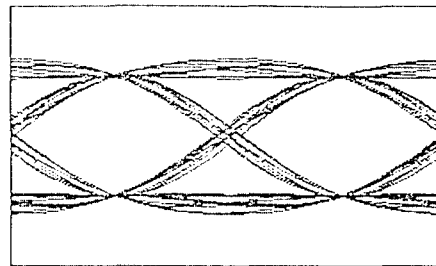


[그림6] 샘플링 편차에 따른 Compact-SQAM 과 QPSK 의 Eb/No 열화정도. (degree in rms, @BER=10E-7)

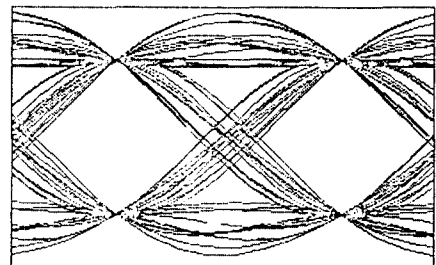
Timing Jitter가 Compact-SQAM의 성능에 미치는 영향(90950)

오류확률 특성을 보인 것이다. 여기서 Gaussian 분포 오차가 오류확률 성능에 가장 큰영향을 미치고, 일정 형태, sinusoidal, static 분포 오차 순으로 그 영향을 미치는 정도가 줄어듦을 알 수 있다.

[그림6]에서는 Compact-SQAM system의 성능을 샘플링 시간 분포 형태별로 오류확률 10E-7을 유지하기 위한 Eb/No의 열화 정도를 QPSK 변조($\alpha=0.4$) 방식과 비교 하였다. Compact-SQAM의 본래 성능이 이론적인 Nyquist 채널에 비하여 약 0.1dB 정도 열화가 되므로 $\Delta < 8^\circ$ rms 이내 범위에서는 QPSK 변조방식의 오류확률 열화 정도가 Compact-SQAM 보다 약간 적지만(0.1 dB 이내), 점차 샘플링 편차가 커질 수록 Compact-SQAM의 성능이 모든 오차 형태에서 QPSK보다 월등히 우수함을 알 수 있다. 이는 [그림7]과 같이 수신기에서 복조한 Compact-SQAM 신호의 eye-diagram 에서 그 횡축 열림 정도가 QPSK의 것 보다 크기때문에 샘플링 시간 오차에 덜 민감하게 영향을 받는 것으로 판단 된다.



(a) Compact-SQAM(A=0.7, fc=1.3fn, N=6)



(b) QPSK ($\alpha=0.4$)

[그림7] 복조기 출력에서의 Compact-SQAM 과 QPSK의 Eye-Diagram.

IV. 결 론.

디지털 통신로의 불완전성으로 수신기에서 복원된 클럭에 지터가 발생 하였을때 Compact-SQAM의 오류확률(P_e)성능에 미치는 영향을 FFT와 statistical 해석 방법으로 복소 평면에서의 computer simulation 으로 분석하였다. 결과적으로 $f_c=1.3f_n$, 6차 butterworth 여파기를 사용한 Compact-SQAM system에서 중첩도 $A=0.7$ 인 경우가 샘플링 시간 오차가 발생된 상태에서 제일적인 P_e 성능 열화가 일어나며, A 값이 커질 수록 성능이 나빠짐을 알아 내었다. 아울러 Compact-SQAM 은 QPSK ($\alpha=0.4$) 변조 방식과 비교하여 timing 지터에 덜 민감하며, 큰 시간 오차에도 좋은 오류확률 특성을 유지함을 보였다.

[참고문헌]

- [1] K.Feher, Digital communications-satellite/earth station engineering, Prentice-Hall, USA, 1981.
- [2] L.E.Franks, "Carrier and Bit synchronizer in data Communication-A tutorial review," IEEE Trans. Comm., vol.COM-28, pp.1107-1121, Aug. 1980.
- [3] I.Sasase, J.Li and K.Feher, "Effect of Carrier recovery and symbol timing recovery error on the performance of 256-QAM systems," in Proc. ELECTRONICOM'85, pp.550-553
- [4] 박 일근, 서 종수, "선형 및 비선형 전송 채널에서 Compact-SQAM의 성능," 한국통신학회, 하계학술 발표회 논문집, vol.9, No.2, pp.888-892, Aug. 1990.
- [5] J.S.Seo and K.Feher, "SQAM: A new superposed QAM modem technique," IEEE Trans. Comm., vol. COM-33, pp.298-300, Mar. 1985.

REFERENCES

- [1] K. Murata and K. Hirade, "GMSK modulation for digital mobile telephony," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, pp.1044-1050, July, 1981.
- [2] M. Ichizuka and Y. Tagada, "Improved coherent detection of GMSK," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, No.2, pp.302-311, Mar.1984.
- [3] S. Elnoubi and S.C. Gupta, "Error rate performance of noncoherent detection of duobinary coded MSK and FEM in mobile radio communication system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-30, pp.62-70, May, 1981.
- [4] T. Masamura, S. Samejima, Y. Morihiro and H. Fuketa, "Differential detection of MSK with nonredundant error correction," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-27, pp.912-918, June, 1979.
- [5] R.R. Anderson et al, "Differential detection of binary FM," *Bell Syst. Tech. J.*, pp.111-159, Jan. 1965.
- [6] K. Hirade, M. Ichizuk, F. Adachi and K. Otani, "Error-rate performance of digital FM with differential detection in land mobile radio channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-28, No.3, pp.204-212, Aug.1979.
- [7] S.M. Elnoubi, "Analysis of GMSK with differential detection in land mobile radio channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. VT-35, No.4, pp.162-167, Nov.1986.
- [8] William B. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, "Numerical Recipes in C," Cambridge University Press, New York, pp.137-140, 1988.
- [9] 최 종 호, 안 영 필, "3.5류에의 용력을 보유한 연속 위상 삼내의 주파수 차동 복조기," *한국 통신학회 차세대통신기술포럼 논문집*, pp.45-47, 1990.