

아날로그 FM 신호에 대한 디지털 QAM 신호의 간섭 영향
(Data In Voice 의 경우)

고 봉 진* 조 성 준*
*한국 항공 대학 통신 정보 공학과

Radio Frequency Interference from Digital QAM Signal
on Analog FM Signal (Data In Voice case)

Bong Jin KO* Sung Joon CHO*
*Dept. of Telecom. and Information Eng., Hankuk Aviation College

ABSTRACT : This paper has investigated and discussed the effects of digital QAM signal on wideband FDM-FM signals in Data In Voice case. Here, the instantaneous frequency distribution of FDM-FM signal is assumed Gaussian. The signal to output baseband interference noise power ratio (SNR) in the top channel baseband signal has been calculated from the derived approximate equation. And the numerical results are given in graphs as the parameters of carrier to noise power ratio(CNR), carrier to interference power ratio(CIR), and normalized separation between FM and QAM carrier frequencies.

1. 서론

제한된 주파수 대역내에서 급격한 통신 수요의 증대와 다양한 정보의 요구로 인하여 세계 각국은 통신 시스템을 아날로그에서 디지털로 대체하고 있다. 그러나 대부분의 나라에서는 기존의 아날로그 마이크로웨이브 시스템에 많은 투자를 해 놓아 이를 고가의 디지털 시스템으로 당장 교체하기는 어려운 실정이다. 따라서 기존의 아날로그 시스템에 최소한의 정형을 하여 디지털 신호를 아날로그 신호와 함께 보내려는 경향이 늘고 있다. 이에 따라 DIV, DAV, DUV, DAVID, DUVID 등의 전송방식이 생겨나게 되었다 [1][2]. 본 논문에서는 아날로그 신호 사이에 디지털 신호를 끼워넣어 전송하는 방식인 DIV(Data In Voice)의 경우에 있어서 아날로그 신호와 디지털 신호간의 간섭 영향에 대하여 해석 한다.

디지털 신호로서는 다치화 하였을 경우 전송용량을 크게 할 수 있을 뿐만 아니라 부신 주파수의 이용 효율을 높일수 있는 QAM 신호[3]를 선택하였다. 아날로그 신호로는 순시 주파수 분포가 가우스 분포를 하는 광대역 FDM-FM 신호를 가정 한다.

디지털 신호인 QAM 신호가 FM 신호에 미치는 간섭 영향을 FM신호의 반송파대 잡음전력비(CNR), FM 신호의 반송파대 QAM간섭파의 전력비(CIR) 그리고 FM 신호와 QAM 신호와의 정규화 반송파 주파수차를 파라메타로 하여 기저대역에 있어서의 신호대 잡음비(SNR)에 관한 식을 유도한 후 수치 계산을 하여 이를 분석 검토 한다.

2. 해석 모델

그림 1에 해석 모델을 나타 낸다.

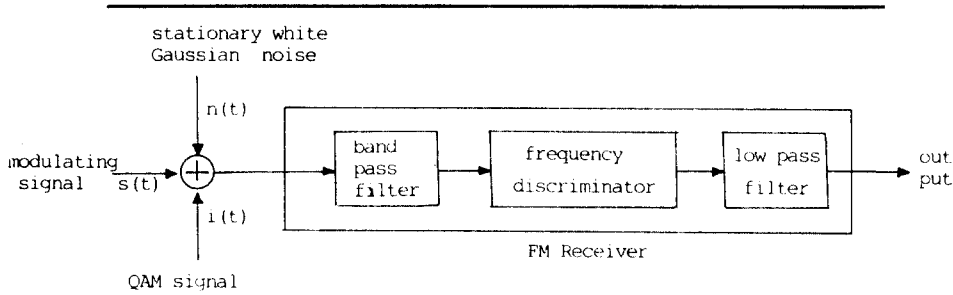


그림 1. FM 수신기
Fig. 1 FM receiver.

여기서 송수신기와 전송로는 왜곡이 생기지 않는 이상적인 것으로 간주한다. FM 신호가 전송로를 거쳐 보내어질 때 이 FM 신호에 정상 백색 가우스 잡음이 더해지고 QAM 신호가 간섭신호로 가해진다.

그림 2에는 고찰하고자 하는 DIV 시스템의 주파수 배치를 보인다. QAM 신호 $i(t)$ 는 FM 신호 $s(t)$ 로부터 f_c 만큼 떨어져 존재하게 된다. FM 신호는 광대역 FM 신호로서 그의 순서 주파수 분포는 가우스 분포를 한다고 가정한다 [4, p.163-166].

원하는 FM 신호 $s(t)$ 와 QAM 간섭파 $i(t)$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$s(t) = \text{Re} \left\{ \sqrt{2P_1} \cdot \exp(j\omega_c t) + u(t) \right\} \quad (1)$$

$$i(t) = \text{Re} \left\{ \sqrt{2P_2} \cdot u(t) \exp(j\omega_c t + \pi/2) \right\} \quad (2)$$

여기서 P_1 와 P_2 는 각각 FM 신호와 QAM 간섭 신호의 평균 반송파 전력이고, $\sqrt{2P_2} u(t)$ 는 QAM 간섭파의 복소 포락선이다. 또한 $f_c = \omega_c / 2\pi$ 와 $f_{c2} = \omega_c / 2\pi + f_m$ 는 각각 FM 신호와 QAM 간섭 신호의 반송주파수이고 $\frac{d\omega_c}{dt}$ 는 FDM 변조신호로서 본 연구에서는 대역

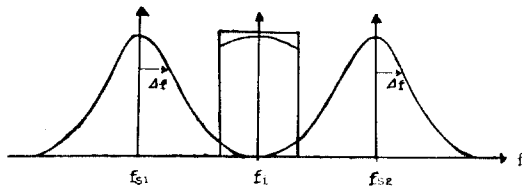


그림 2. 주파수 배치도
Fig. 2 Frequency arrangement.

제한된, 평균치가 0 이고 평균전력이 P_1 인 정상 가우스랜덤과정(stationary Gaussian random process)의 것을 고려한다.

(2) 식에서 $u(t)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$u(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x) \cdot (t-x) dx \quad (3)$$

윗 식에서 $h(x)$ 는 QAM 송신기 필터의 등가저역 임펄스 응답이고 $(t-x)$ 는 QAM 신호의 복소 포락선으로서 다음과 같이 표현된다.

$$u(t) = \text{EXP}(j\omega_c t) \quad (4)$$

단 $(t-x)$ 는 QAM 신호의 위상신호.

따라서

$u(t)$ 의 자기상관함수 $R_u(\tau)$ [5, p.98]는

$$\begin{aligned} R_u(\tau) &= \langle u^*(t) + u(t+\tau) \rangle \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} h^*(x)h(y) R_u(t+x-y) dx dy \quad (5) \end{aligned}$$

윗 식에서 $R_u(\tau)$ 는 $u(t)$ 의 자기상관함수로서

$$R_u(\tau) = \langle u^*(t) \cdot u(t+\tau) \rangle \quad \text{이다.}$$

식 (5) 의 푸리에 변환(Fourier Transform)을 취하면 다음과 같이 QAM 간섭파의 정규화된 등가저역 전력 스펙트럼 (equivalent lowpass power spectrum)이 얻어진다.

$$\begin{aligned} W_u(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} h^*(x) e^{j2\pi f x} dx \int_{-\infty}^{\infty} h(y) e^{-j2\pi f y} dy \cdot W_u(f) \\ &= |H(f)|^2 \cdot W_u(f) \quad (6) \end{aligned}$$

단, $W_u(f)$ 는 $u(t)$ 의 전력 스펙트럼 밀도이고

$|H(f)|^2$ 는 QAM 송신기 필터의 진폭 특성을 나타낸다.

3. 간섭 영향 해석

FM 수신기의 입력 신호 $z(t)$ 는 아래와 같다.

$$z(t) = s(t) + i(t) + n(t)$$

$$= \text{Re} \{ \sqrt{2P} \text{EXP} \{ j\omega_c t + \eta(t) \} \} + \text{Re} \{ \sqrt{2P} u(t) \cdot \text{EXP} \{ j\omega_c t + \mu(t) \} \} + n(t)$$

$$= \text{Re} \{ G(t) \text{EXP} \{ j\omega_c t + \eta(t) \} + \sqrt{2P} u(t) \cdot \text{EXP} \{ j\omega_c t + \mu(t) \} \} \quad (7)$$

여기서, $n(t)$ 는 협대역 가우스 잡음으로서 다음과 같이 표현된다.

$$n(t) = n_1(t) \cos \omega_c t - n_2(t) \sin \omega_c t \quad (8)$$

$n_1(t)$ 와 $n_2(t)$ 는 각각 평균치가 0, 전력이 같은 통계적으로 서로 독립인 정상 저역 가우스 랜덤 과정이다. 그림 3.은 수신기 입력에 대한 벡터도이다. x 와 y 는 각각 FM 신호와 동상 및 역상 잡음성분을 나타낸다. 포락선 $G(t)$ 는 다음과 같다.

$$G(t) = \sqrt{\sqrt{2P} + x(t)^2 + y(t)^2} \quad (9)$$

합성 신호 벡터 Z 는 위상 η 를 가지며 FM 시스템이 높은 입력 반송파대 잡음 전력비(CNR)하에서 운용된다면 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$\eta(t) = \phi(t) + \frac{\theta(t)}{\sqrt{2P}} + \xi(t) = \phi(t) + \lambda(t) \quad (10)$$

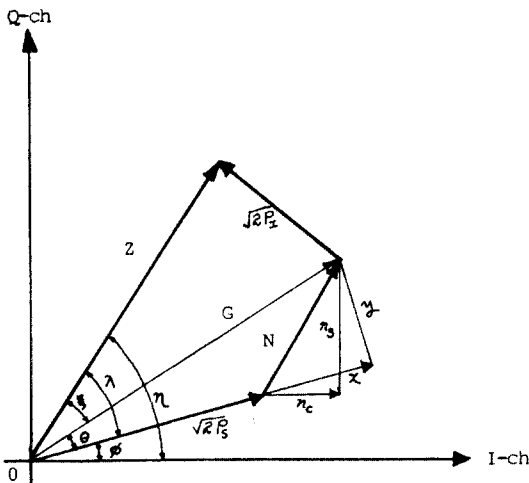


그림 3. 수신기 입력에 있어서의 위상도
Fig. 3 Phasor diagram of the input to the FM receiver.

따라서 FM 수신기의 통과 대역을 고려하여 위상 검파기 출력에 있어서의 기저대역 간섭 잡음 전력 스펙트럼 밀도 $W_A(f)$ 를 구하면 다음과 같다 [6].

$$W_A(f) = \frac{1}{2} \text{erf} \left\{ \frac{B}{\sqrt{2} B_c} \right\} + \frac{1}{2} \text{EXP} \left\{ -\frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{4 B_c^2} \text{erf}^2 \left(\frac{B}{\sqrt{2} B_c} \right) \right) \right\}$$

$$\cdot \left\{ A(f-fd-p) \cdot W_1(f-fd-p) \cdot W_2(p) + A(f-fd+p) \cdot W_1(-f-fd+p) \cdot W_2(-p) \right\} df \quad (11)$$

윗식에서 B 는 FM 수신기의 통과 대역폭이고 fd 는 FM 신호와 QAM 간섭파와의 중심 주파수차이다.

$W(f)$ 는 QAM 신호의 전력 스펙트럼 밀도로서 다음과 같이 주어진다 [7].

$$W(f) = T \cdot \left\{ \frac{\sin \pi f T}{\pi f T} \right\}^2 \quad (12)$$

여기서 $T = \frac{1}{f_c}$; f_c 은 심벌 주파수.

식 (11)에서 $A(f)$ 는 QAM 송신기에 사용된 필터의 진폭 특성으로서 L 단 버트워즈 필터(Butterworth Filter)를 가정하면 다음과 같다 [5, p.69]

$$A(f) = \frac{1}{1 + \left(\frac{f}{B_{3dB}} \right)^{2L}} \quad (13)$$

윗식에서 B_{3dB} 은 필터의 3dB 대역폭, L 은 필터의 단수이며, $W_A(f)$ 는 FDM-FM 신호의 전력 스펙트럼 밀도로서 변조지수 m_f 가 클 경우 즉 $m_f \gg 1$ 인 광대역 FM 신호 일때는 근사적으로 식(10)과 같이 주어진다[4, p.169].

$$W(f) = \frac{1}{\sqrt{2P} T} \text{EXP} \left\{ -\frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{4 B_c^2} \text{erf}^2 \left(\frac{B}{\sqrt{2} B_c} \right) \right) \right\} \quad (14)$$

단 $4f$: FM 신호의 실효 주파수 편이

(= $\frac{1}{2} \text{CNR}$); 반송파대 잡음 전력비(CNR)

(= $\frac{1}{2} \text{CIR}$); 반송파대 간섭 잡음 전력비(CIR).

간섭 신호가 16 QAM 신호일 경우 이의 평균 전력 P_c 는 $\frac{1}{2} \text{CIR}$ 된다. 단 I 는 16 QAM 신호의 최대 반송파 진폭이다.

또한 FM 신호의 평균 반송파 전력 P 는 $P = \dots$ 이므로 $\dots = \dots$ 가 된다. 따라서 어떤 주파수 f 를 중심으로 하는 FDM 전파 채널에서의 기저대역 FM 출력 신호대 간섭 잡음비(CNIR) 는 앰파시스(emphasis)를 고려하지 않을 경우 다음과 같이 구해진다[8].

$$\dots \dots \dots (15)$$

단 f_m : 최고 채널 주파수
 f_l : 최저 채널 주파수
 f_c : 기저 대역 주파수.

4. 수치 해석 및 검토

수신기의 내부 잡음과 디지털 QAM신호로부터 간섭을 받는 변조지수가 약 1.7되는 광대역 FDM-FM 신호의 최고 기저대역 채널에서의 신호대 간섭 잡음비(CNIR) 를 수치 계산에 의해 구해내었다. 1200 KHz로 대역 제한된 기저대역 FDM (대략 진화 채널 300ch에 해당) 신호에 의해 변조된, 실효 주파수 편이가 2 MHz인 FM 신호에 대하여 심벌 주파수가 각각 1.544 MHz와 4.4736 MHz인 QAM 신호가 간섭을 미칠 경우 신호대 잡음비(SNR)의 계산결과를 그림 4, 그림 7에 나타내었다. 이때 QAM 송신단의 필터는 $B_{QAM} = 2 \cdot f_m$, (f_m : QAM신호의 심벌 주파수)인 5단 버터워즈 필터로 가정하였다. 그림 4 와 그림 5는 정규화 반송파 주파수차 ($X = (f_m - 3 \Delta f) / f_m$)가 0 인 경우에 CIR 값에 따른 SNR 값을 나타낸 것으로서 심벌 주파수가 낮은 QAM 신호가 심벌 주파수가 높은 QAM 신호보다 FM 신호에 영향을 적게 미친다는 것을 알 수 있으나 $CIR > 30$ dB 에서는 심벌 주파수에 관계없이 FM 신호가 받는 영향이 거의 비슷하다는 것을 알 수 있다.

그림 6.과 그림 7.은 CIR값을 10 dB 로 고정시켰을 경우에 정규화 반송파 주파수차(X)에 따른 SNR을 나타낸 것이다. 그림 6과 그림 7을 비교해 보면 심벌 주파수가 높은 QAM 신호일수록 정규화 반송파 주파수에 따라 FM에 미치는 영향의 폭이 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 X 가 0.0과 0.2 일 때는 심벌 주파수가 큰 QAM 신호로부터 받는 영향이 심벌 주파수가 낮은

QAM 신호로부터 받는 영향보다 크지만 X 가 0.4 이상에서는 이와 반대가 된다는 것을 알 수 있다.

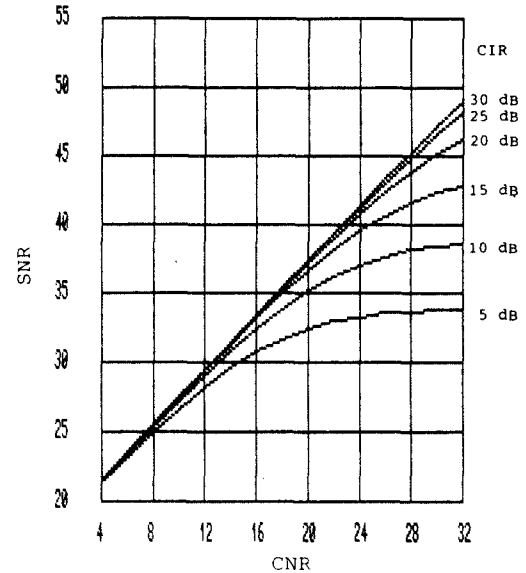


그림 4. QAM 신호로부터 간섭을 받을 경우의 최고 채널 FDM 신호에 대한 신호대 간섭 잡음비 ($B_{QAM} = 2 \times 1.544$ MHz, $X = 0.0$)
 Fig. 4 Signal to interference noise power ratio (SNR) in the top channel FDM signal with interference when $B_{QAM} = 2 \times 1.544$ MHz and $X = 0.0$.

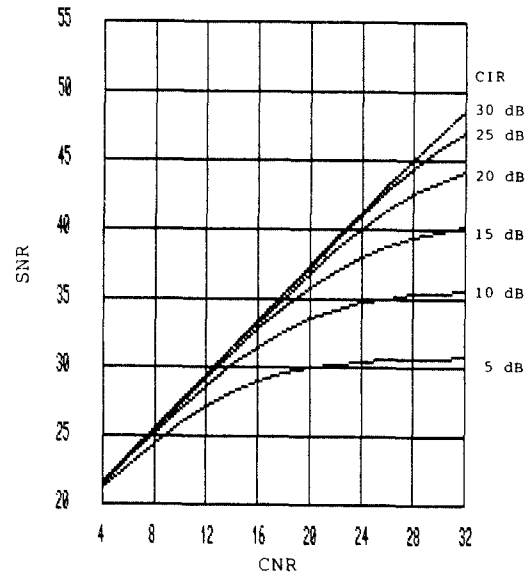


그림 5. QAM 신호로부터 간섭을 받을 경우의 최고 채널 FDM 신호에 대한 신호대 간섭 잡음비 ($B_{QAM} = 2 \times 4.4736$ MHz, $X = 0.0$)
 Fig. 5 Signal to interference noise power ratio (SNR) in the top channel FDM signal with interference when $B_{QAM} = 2 \times 4.4736$ MHz and $X = 0.0$.

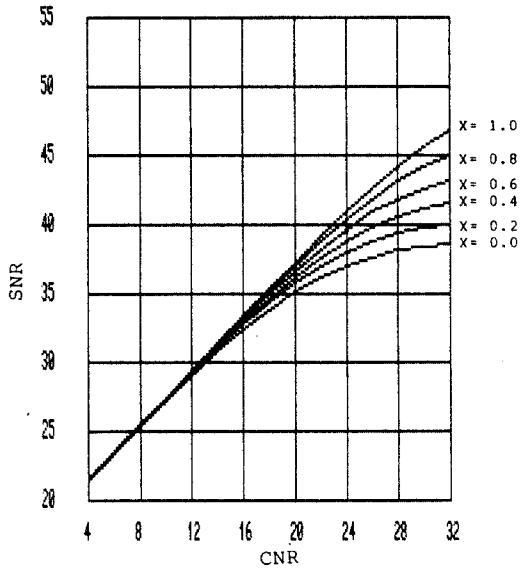


그림 6. QAM 신호로부터 간섭을 받을 경우의 최고 채널 FDM 신호에 대한 신호대 간섭 잡음비 (B.W. = $2 \times 1.544\text{MHz}$, CIR = 10dB)
 Fig. 6 Signal to interference noise power ratio (SNR) in the top channel FDM signal with interference when B.W. = $2 \times 1.544\text{MHz}$ and CIR = 10dB .

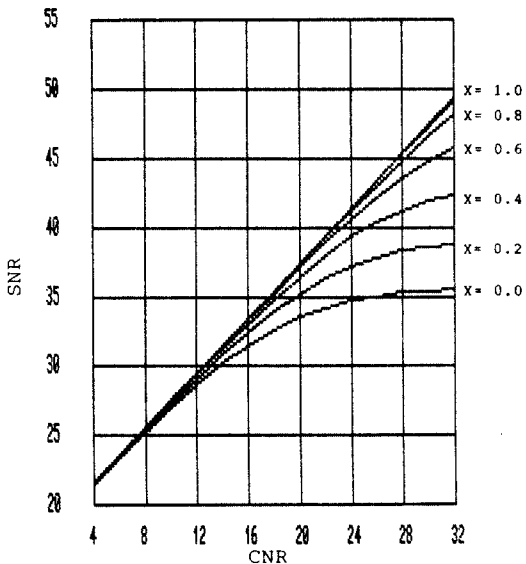


그림 7. QAM 신호로부터 간섭을 받을 경우의 최고 채널 FDM 신호에 대한 신호대 잡음 간섭비 (B.W. = $2 \times 4.4736\text{MHz}$, CIR = 10dB)
 Fig. 7 Signal to interference noise power ratio (SNR) in the top channel FDM signal with interference when B.W. = $2 \times 4.4736\text{MHz}$ and CIR = 10dB .

5. 결 론

본 논문에서는 아날로그 신호사이에 디지털 신호가 존재하는 경우인 DIV 시스템에서 디지털 신호가 아날로그 신호와 공존할 수있는 조건을 구하기 위하여 디지털 신호가 아날로그 신호에 미치는 간섭 영향을 알아 보았다. 이를 위해 FDM-FM 신호의 기저대역에서의 신호대 간섭비의 근사식을 유도하여 FDM신호의 최고 채널에서의 신호대 간섭 잡음비(SNR)를 수치 계산하였으며 그 결과를 FM 신호의 반송파대 잡음전력비(CNR), 반송파대 QAM 간섭파의 전력비(CIR) 그리고 FM 신호와 QAM 신호와의 정규화 반송파 주파수 차를 파라메타로하여 그래프로 나타내고 이에 대한 검토를 행하였다.

참 고 문 헌

- [1] K.Feher, "Digital modulation techniques in an interference environment," Don White Consultants, Inc., pp.10.1-10.12, 1977.
- [2] K.Feher, "Digital communication," N.J.:Prentice Hall, pp.183-197, 1981.
- [3] 조성준, "16 QAM(직교진폭변조) 디지털 마이크로파 통신방식," 무선 제 19호, pp.37-41, 1986. 3.
- [4] M.Schwartz, "Communication systems and techniques," New York: McGraw-Hill, 1966.
- [5] A.B.Carlson, "Communication systems," 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1975.
- [6] 조성준, "아날로그 주파수변조(FM) 무선통신 시스템에 미치는 디지털 위상 변조(PSK) 무선통신 시스템의 간섭영향," 한국통신학회지, 제8권, 제2호, pp.63-75, 1985. 7.
- [7] S.Yoshida and F.Ikegami, "A simple calculation formula for power spectral density of a digitally modulated signal," Trans. IECE(Japan), vol. E69, no.7, pp.775-778, July 1986.
- [8] H.C.Jeruchim, "A survey of interference problems and applications to geostationary satellite networks," Proc. IEEE, vol.65, pp.313-317, Mar. 1977.