

멀티미디어 통신을 위한 OFDM의 전송 성능에 관한 연구

*김 남 성, **강 회 조, *이 권 현

*청주기능대학

**목원대학교 컴퓨터멀티미디어공학부

A Study on the Transmission Performance for Multimedia Communication

*Nam-Sung Kim, **Heau-Jo Kang, *Kwon-Hyun Lee

*Cheongju Polytechnic College

**Division of Computer & Multimedia Eng. Mokwon Univ.

요 약

본 연구에서는 고속 광대역의 정보신호를 다중경로 페이딩 환경에서 효율적으로 전송하기 위한 M-ary QAM신호와 OFDM전송방식을 사용할 때 반송파의 주파수 오프셋이 발생하는 동기오차가 수신 시스템에 미치는 영향으로 인한 수신 성능을 분석하였다

I. 서 론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이란 고속 광대역의 정보신호를 다수의 부 반송파를 이용하여 협대역의 정보신호로 바꾸어 전송하는 방식으로써, 다중경로 전파전파 환경에서 발생하는 수신신호의 지연확산으로 인한 심볼간의 간섭(ISI : Inter-symbol Interference)을 최소화 할 수 있다[1].

파일롯 심볼의 삽입방법은 주파수방향과 시간방향에 파일롯 심볼을 분산한 SP(Scattered Pilot) 방식을 제안한다. 분산한 파일롯 심볼로부터 데이터를 판정한다면, 전송로의 전달특성을 추정할 필요가 있고 이의 동화 방법이 필요하다[2]. 또한, OFDM전송시스템은 부 반송파의 협대역화로 인해 작은 주파수 오프셋에 대해 SER 성능 열화가 증가하는 단점이 있다. 여기서의 주파수 오프셋은 발진이나 인접은 주파수 대역에서의 간섭과 도플러 천이에 의해 원치 않는 주파수 오프셋이 생겨나게 된다. 이 결과 수신단에서 입력되는 값은 송신값에 비해 Δf 만큼의 차이를 갖는 값을 가지고 입력된다. 이로 인해 성능 열화가 된다.

본 연구에서는 고속 광대역의 정보신호를 다중경로 페이딩 환경에서 효율적으로 전송하기 위한 M-ary QAM신호와 OFDM전송방식을 도입하고, 파일롯 심볼의 삽입간격 레벨과 전송특성에 있어서 방식을 검토하고, 반송파의 주파수 오프셋이 발생하는 동기오차가 수신시스템에 미치는 영향으로 인한 수신 성능을 분석하였다

II. 검토한 OFDM 전송 파라미터

검토 대상으로 한 OFDM 전송 파라미터를 표 1에 나타내었다.

현행 TV의 방송대역에서의 도입을 가정해서 OFDM의 전송대역폭은 5.6MHz 이다.

OFDM의 유효심볼 장 T_u 은 $62.5\mu s - 2ms$, 보호대역장 T_g 은 유효심볼장의 1/4임[3].

OFDM의 캐리어 변조방식은 이동수신의 검토를 위해서는 DQPSK, 파일롯 심볼에 관한 검토를 위해서는 64QAM 한다. 다음으로, 캐리어 변조방식을 DQPSK와 64QAM 위한 OFDM을 DQPSK-OFDM과 64QAM-OFDM이라 한다.

64QAM-OFDM의 복조에 있어서, 수신신호가 다중경로 방해 등의 영향을 받고 있는 경우, 멀티패스 방해의 조건에 따라 전송대역내의 위상회전량이 다르기 때문에 동기점파로 복조하기 어렵다. OFDM의 모든 캐리어에 진폭위상기준으로서 파일롯 심볼을 보내고, 그 파일롯 심볼을 기준으로 복조하는 편이 용이하다. 그런데, 보호대역 길이 T_g 가 유효 심볼 길이 T_u 의 1/4이라는 것은 최대지연시간 $T_u/4$ 의 지연파 까지 보호대역에 따라 심볼간 간섭이 생기지 않는다. 지연시간 $T_u/4$ 의 지연파가 있었던 경우의 수신 스펙트럼은, $T_u/4$ 의 역수, 즉, $4/T_u = 4 \cdot \Delta f$ (Δf :캐리어 간격)주기의 주파수특성을 가지게 된다. 따라서, 64QAM복조를 위한 파일롯 심볼은 이 주파수특성을 추정할 수 있을 정도로 삽입하면 좋고, 쉬어 낼 수 있다.

본 논문에서는, 그림 1의 표시한 대로 주파수 방

향의 파일롯 심볼을 빼어내고, 시간방향의 파일롯 심볼을 캐리어 위치를 조금 옮긴 프레임 구성을 가정한다. 단, 가장 오른쪽 끝의 파일롯 심볼이다. 이 프레임 구성을 SP방식이라고 부른다. 그림에 표시된 것처럼 파일롯 심볼의 주파수방향 간격을 Nf , 시간방향의 간격을 Nt 라고 한다. 64QAM-OFDM의 배치점의 파일롯 심볼의 배치를 그림 2에 표시. 파일롯 심볼을 I축 상의 2점에 배치, 그 레벨은, 모든 데이터 심볼의 평균 레벨을 1로 했을 때, $\pm L$ 이라고 한다. 또한, 2점내의 어느 쪽에 배치할 건가는 사전에 캐리어를 결정하여 배치한다.

표 1 OFDM 전송 파라미터

신호대역폭	5.6MHz					
	유효심볼장 (T_u)	62.5 μ s	125 μ s	250 μ s	500 μ s	1ms
캐리어간격 (Δf)	16 kHz	8kHz	4kHz	2kHz	1kHz	500Hz
캐리어총수	349 본	697 본	1393 본	2785 본	5569 본	11136 본
보호대역장 (T_g)	유효심볼장의 1/4					
캐리어변조방식	DQPSK, 64QAM					

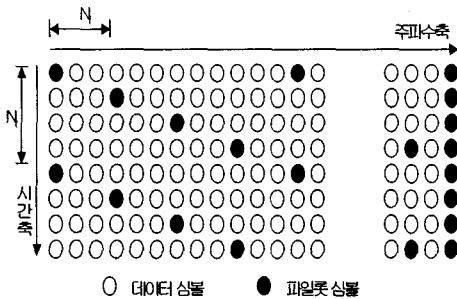


그림 1 64QAM-OFDM 프레임 구성

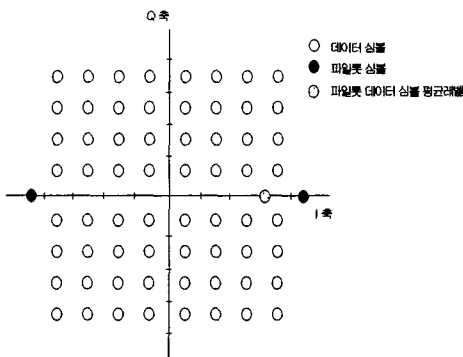


그림 2 64QAM-OFDM 데이터 심볼과 파일롯 심볼의 배치

III. SP 방식프레임 구성 OFDM의 비트 에러율 검토를 위한 시뮬레이션

3.1 가우스 잡음

싱글캐리어 64QAM의 동기검파의 비트 오율[4].

$$P_b = \frac{7}{24} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{C/N}{42}} \right) \quad (1)$$

SP 방식 프레임 구성의 64QAM-OFDM에서는 싱글캐리어 64QAM 동기검파 특성에 비해 다음과 같은 열화 요인을 고려한다.

1. 전체의 평균전력을 가정한 경우 파일롯 심볼의 레벨을 높이면, 데이터 심볼에 할당된 전력이 감소하기 때문에 열화 한다.
2. 진폭위상의 기준과 다른 파일롯 심볼에 의한 잡음이 포함되기 때문에 열화 한다.

$$C_A = \frac{C_p + (N_{p'} - 1)C_D}{N_p} \quad (2)$$

여기서, N_p ; 심볼내의 1나의 파일롯 심볼, C_A ; 전체평균전력, C_p ; 파일롯 심볼전력, C_D ; 데이터 심볼전력, $C_p = L^2 C_D$

$$C_D = \frac{N_p}{N_p - 1 + L^2} C_A \quad (3)$$

준동기 검파후, 파일롯 심볼의 진폭과 위상을 기준한 데이터 심볼을 판정한 복조방식의 복조후의 $\frac{C}{N}$

$$\frac{C}{N} = \frac{1}{\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_D}} \quad (4)$$

$$\frac{C}{N} = \frac{C_D}{N} \frac{1}{1 + \frac{1}{L^2}} \quad (5)$$

SP 방식의 64QAM-OFDM 비트 오율식

$$P_b = \frac{7}{24} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{C_A}{42} \frac{1}{1 + \frac{1}{L^2}} \frac{N_p}{N_p - 1 + L^2}} \right) \quad (6)$$

3.1.2 준정적 레일리 페이딩 비트 오율

64QAM OFDM 준 정적 레일리 페이딩에 의한 오율식은 다음의 근사식에 의하여 구한다. 레일리 페이딩에서의 수신파의 진폭은 레일리 분포이다.

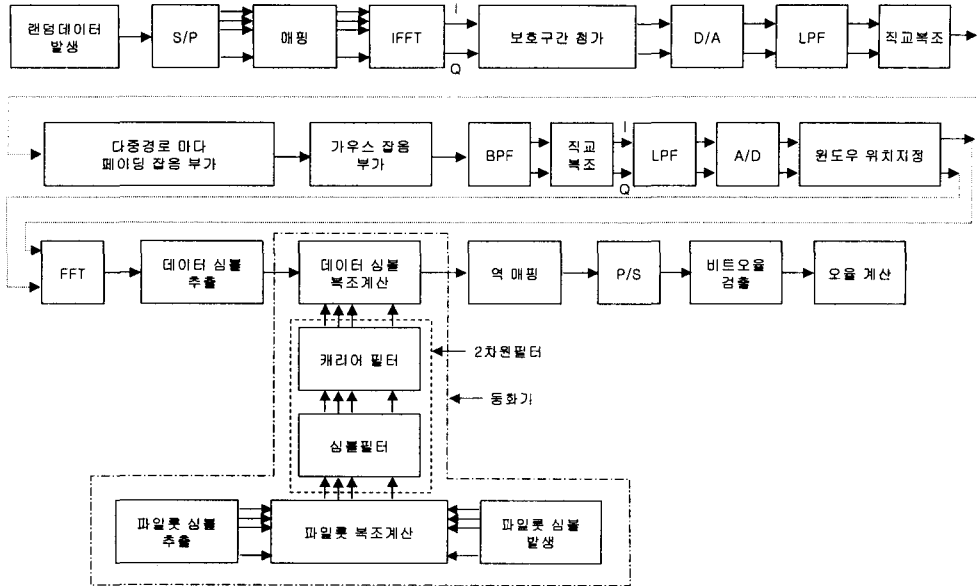


그림 3 64QAM OFDM 시뮬레이션 블록도

수신파의 평균 $\frac{C}{N}$ 을 Γ 순서 $\frac{C}{N}$ 을 γ 로 평균 비트 오류식은 다음과 같다.

$$\bar{P}_b = \int_0^\infty P_b(\gamma) \cdot p(\gamma) d\gamma \quad (7)$$

여기서, $P_b(\gamma)$ 는 가우스 잡음일 때의 비트 오류,

$$p(\gamma) = \frac{1}{\Gamma} \exp\left(-\frac{\gamma}{\Gamma}\right) \quad (8)$$

$$\bar{P}_b = \frac{7}{24} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+42/\Gamma}}\right) \quad (9)$$

SP 방식의 경우 디지털 심볼의 전력이 전체의 평균전력보다 감소하여 열화하고, 진폭위상 기준도 파일럿 심볼에 잡음이 포함되기 때문에 열화되기에 평균 Γ 는 다음식으로 나타낸다.

여기서
$$\Gamma = \frac{C}{N} \frac{1}{1+1/L^2} \frac{N_{ff}}{N_{ff}-1+L^2}$$

$$\bar{P}_b = \frac{7}{24} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{C}{N} \frac{1}{1+1/L^2} \frac{N_{ff}}{N_{ff}-1+L^2}}}\right) \quad (10)$$

3.2 시뮬레이션 블록도

64QAM-OFDM 경우의 시뮬레이션 블록도를 그림 3에 표시. 그림 매핑에 관해서는, 데이터 심

볼의 IQ 복소평면상의 매핑 및 파일럿 심볼의 매핑을 실행한다. 전송로에서는 다중경로, 페이딩, 가우스 잡음의 방해에 가한다. 다중경로 방해에 관해서는 지연파는 1파로서, 그 D/U를 r , 지연시간을 τ , 중심 캐리어에 관해서 위상차를 θ 로서 (13)식의 전달계수에 표현될 전송로특성이라고 했다.

또, 페이딩 방해에 관해서는, 수신파의 포락선의 변동이 레일리 분포원칙에 따르고, 위상의 변동이 평범한 분포원칙에 따른 레일리 평탄 페이딩 방해라고 한다.

SP방식 프레임 구성의 데이터 심볼 복조에 관해서는 그림 3에 표시한 것처럼 FFT 출력에서 파일럿 심볼을 추출하고, 심볼 필터(시간방향)와 캐리어 필터(주파수 방향)의 2차원필터를 이용해서 전송로특성을 추정하고, 받은 전송로특성으로 데이터 심볼을 보정하는 것에 따라 등급화하고 복조데이터를 얻는다. 또한, 이하의 시뮬레이션에 관해서, 심볼 파일부에서는 파일럿 심볼의 복소 벡터값을 그대로 홀드하고 캐리어 필터부에서는 심볼 필터부에서 받은 파일럿 심볼을 FFT하고, 나이퀴스트의 샘플링 정리를 충족하는 가장 큰 광대역 통과대역폭의 LPF를 통과한 후, IFFT 전송로의 주파수특성을 구한다. 또한, 수신측의 주파수동기 및 심볼 동기는 송신측의 주파수에 대하고 이상적으로 동기화 하는 것이다.

3.3 해석결과의 검토 비교

64QAM-OFDM의 가우스 잡음에 의한 비트 오류율 근사식에 의한 해석 결과를 그림 4에 표시.

또한, SP방식의 결과에 대해서는 $N_{ft}=12(N_f=3, N_t=4), L=4/3$ 라고 한다. 그림에서 보듯 근사식과 시뮬레이션 결과는 일치하는 것을 알 수 있다.

그림 5는 준정적 레일리 페이딩시의 근사식에 의한 계산결과((10)식 및, (12)식)와 시뮬레이션 결과이다. 이 그림에 관해서도 SP방식의 경우에는 $N_{ft}=12, L=4/3$ 라고 하고 있다. 또한, 시뮬레이션에 관해서는 준정적 레일리 페이딩의 조건에 다가오기 위해, 최대 도플러주파수 $f_D=10\text{Hz}$, 유효심볼 길이 $T_u=62.5\mu\text{s}$ 라고 하고, 파일럿 심볼에 의한 시간방향의 영향을 피하기 위해, $N_t=1, N_f=12$ 라고 한다. C/N가 높은 곳에 관해서 다소 시뮬레이션 결과의 방법이 좋은 결과로 되어 있지만, 전체적으로는 거의 일치해 있고, 근사식 및 시뮬레이션이 잘 일치함을 나타내었다.

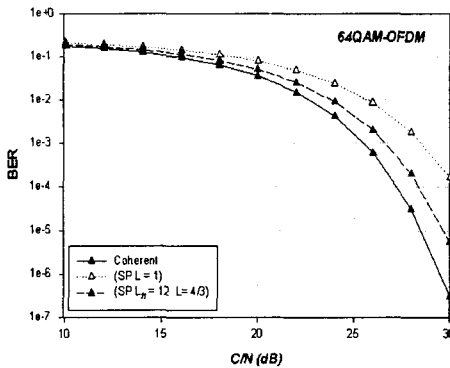


그림 4 SP 프레임 기법에 의한 오율성능

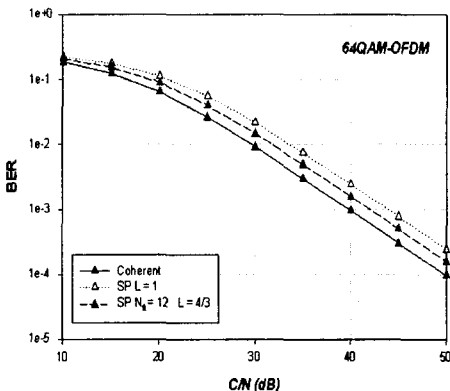


그림 5 페이딩 채널에서 SP 프레임 기법에 의한 오율성능

IV. 주파수 오프셋의 영향

OFDM 신호는 복조할 때에 반송파간의 직교성이 무너지면 오율특성의 열화가 발생한다. 전 절의 보호구간을 넘는 지연 넓이의 경우도 그와 같은 상황이 발생하고 있는 예이다. 직교성의 붕괴

는 보호구간 길이보다도 긴 전송로의 지연 넓이 이외에도 발생하는 요인이 다수 존재한다. 그 중에서도 반송파의 주파수가 상정하고 있는 주파수에서 어긋나 있는 주파수 오프셋이 존재하는 경우는 전형적인 예이다.

주파수 오프셋은 수신기에 있어서 동기화 이동에 따른 도플러 쉬프트의 영향 등에 의해 발생한다. 여기에서는 가장 간단한 경우로서 반송파 주파수가 상정하고 있는 주파수로부터 일정량 어긋나 있는 경우의 특성을 보인다. 제 3장에서 보인 바와 같이 반송 대역의 OFDM의 수신신호는 다운 컨버전 되어 복조 처리가 이루어진다. 그 때, 다운 컨버전은 정현파 $e^{-j2\pi f_c t}$ 를 수신신호에 곱하는 것에 의해 이루어진다. 여기에서 곱하는 정현파, 수신기 측에서 생성되는 것이고, 수신신호로부터 동기회로에 의해 생성할 필요가 있다. 그 경우에 동기회로의 성능이 충분한 것이 아니면 바른 주파수를 생성할 수 없는 경우도 있다. 또, 이동수신의 경우에는 이동에 따른 도플러효과에 의해 정상적인 주파수의 오차가 발생하는 일이 있다. 주파수 오프셋이 존재하는 경우의 각 반송파의 심벌에 대한 심벌 오율을 구하는 것이 가능하다. 단, 캐리어간 간섭성분을 구성하는 각각의 심벌은 가우스 분포를 따르지 않으므로, 가우스 잡음에 대한 오율을 이용하는 경우에는 주의가 필요하다. 그러나, 이 경우 간섭성분은 다수의 심벌을 모은 것이고, 중심극한정리에 의해 전체적으로 가우스 분포라 생각하는 것이 가능하다. 실제, 시뮬레이션 결과와도 잘 일치한다. 따라서, 이론해석에서는 간섭성분을 가우스 분포로 생각한다.

그림 6는 각종 변조방식에 있어서, CN비에 대한 심벌 오율을, 정규화 주파수 오프셋 α 를 변화시키며 구한 값이다. $\alpha=0$ 의 경우는 가우스 전송로에 있어서 특성을 나타내고 있다. 이것에 대해서 주파수 오프셋이 커지면, CN비가 향상되어도 오율의 향상이 열화된다. 특히, 고속의 전송 방식일수록 열화의 정도가 커지고, 더욱이, 주파수 오프셋이 클수록, 열화가 심해진다. 16QAM과 64QAM의 예를 보면 주파수 오프셋이 커지면 CN비를 아무리 개선하여도 오율의 향상이 얻어지지 않는 것을 알 수 있다. 이 영역에서는, 이미 잡음이 아니라, 주파수 오프셋에 의한 캐리어간 간섭의 영향이 지배적이기 때문이다.

그림 7에 정규화 주파수 오프셋에 대한 심벌 오율을 보인다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 주파수 오프셋이 커지면 심벌 오율은 급격하게 열화되고 있다. 특히 QAM을 이용한 고속전송의 경우가 그 영향은 크며, QAM 방식의 경우는 보다 정밀도가 높은 주파수 동기가 필요하게 되는 것을 알 수 있다.

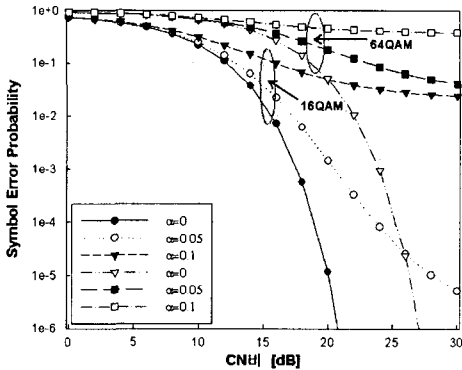


그림 6 주파수 오프셋이 존재하는 경우의 수신 CN비에 대한 심벌 오류

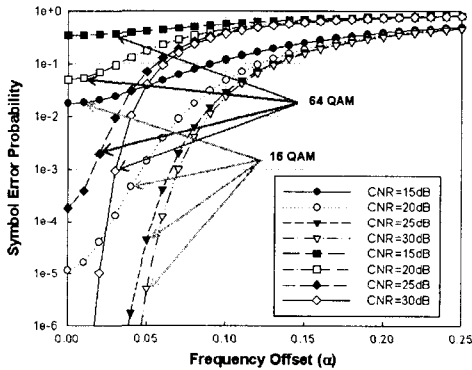


그림 7 정규화 주파수 오프셋(a)에 대한 심벌 오류

V. 결 론

지상 디지털 방송을 위해서 검토한 SP방식 프레임 구성의 64QAM-OFDM의 비트 오류 이론과 시뮬레이션에 의한 검토를 하여 이의 당위성을 확인하였다. 또한 심볼길이에 의한 파일럿 심볼의 삽입간격에 의한 전송특성을 검토하였다.

UHF대 이동수신을 위해서는 DQPSK-OFDM의 경우 유효 심볼장 T_u 는 $500\mu s$ 이하에서 이동수신의 가능성이 있다. 64QAM-OFDM의 변조를 위한 파일럿 심볼 주파수 방향 간격 N_f 와 시간방향간격 N_t 와 레벨 L 에서 보호간격을 유효심볼 길이의 1/4일때 $N_f=3$ 이 적당하고 N_t 에 관해서는 유효심볼 길이와 전송효율이 결정된다. 최대 도플러 주파수 10Hz레일리 페이딩을 가정한 경우 $T_u=250\mu s$ 경우 $N_t=8$ 이하, $T_u=500\mu s$ 경우 $N_t=4$ 이하가 적당하다. 파일럿 심볼의 레벨에서는 주파수 방향 간격 N_f 의 값에 따라서 다르고, 클리핑을 5-6dB로 가정하면, 데이터의 평균레벨에 1.2-1.4배가 적당함을 알았다. 또한, 주파수 오프셋

이 커지면, CN비가 향상되어도 오류의 향상이 열화된다. 특히, 고속의 전송 방식일수록 열화의 정도가 커지고, 더욱이, 주파수 오프셋이 클수록, 열화가 심해진다. 16QAM과 64QAM의 예를 보면 주파수 오프셋이 커지면 CN비를 아무리 개선하여도 오류의 향상이 얻어지지 않는 것을 알 수 있다. 이 영역에서는, 이미 잡음이 아니라, 주파수 오프셋에 의한 캐리어간 간섭의 영향이 지배적이기 때문이다.

주파수 오프셋이 커지면 심벌 오류는 급격하게 열화되고 있다. 특히 QAM을 이용한 고속전송의 경우가 그 영향은 크며, QAM 방식의 경우는 보다 정밀도가 높은 주파수 동기화 필요하게 되는 것을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] Alard, M.; Halbert-Lassalle, R.; Floch, le B.; Pommier, D.: A new system of sound broadcasting to mobile receivers. Eurocon'88, p. 416-420,1988.
- [2] Chini, A.: Multi carrier modulation in frequency selective fading channels. Ph.D. dissertation, Carleton University 1994.
- [3] B. Hirosaki, Analysis of automatic Equalizers for orthogonal multiplexed QAM systems, IEEE Trans. Comm., COM-28, pp.73-83, 1980
- [4] ETSI, "Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data Services, Channel Coding and Modulation for Digital Terrestrial Television", Draft prETS 300 744, 1997.
- [5] 齊藤, 디지털 무선통신의 변복조, 電子情報通信學會, 코로나사, 1986.