

고속 모바일 환경에서 fast 페이딩 극복을 위한 가우시안 보간 GPSAM 기법

김정수^{1*}

¹송실사이버대학교 컴퓨터정보통신학과

Gaussian Interpolation GPSAM Method to Overcome Fast Fading in High Speed Mobile Environments

Jeong-Su Kim^{1*}

¹Dept. of Computer, Information & Communication, Korea Soongsil Cyber University

요 약 페이딩 채널에서 야기되는 진폭 및 위상 왜곡을 예측하여 보상하는 PSAM(Pilot Symbol Assisted Modulation) 방식의 경우에는 fast 페이딩 채널에서 도플러확산에 의해 심한 성능 저하를 갖는다. 이에 대한 문제점을 분석하고, 이를 개선하기 위한 페이딩 보상 방식을 제안한다. 도플러 확산은 BER 성능을 저하시키는 주된 원인이 된다. 기존의 PSAM 방식과 비교해 보면, 한 심벌 주기 이내의 지연파의 간섭이 있는 환경에서는 기존 PSAM 방식은 도플러확산에 의해 BER이 10^{-1} 정도의 매우 심각한 성능저하를 보이지만 제안된 방식은 도플러 확산이 클수록 성능저하는 발생하지만 기존 방식에 비해 BER이 10^{-2} 이하로 성능이 우수함을 알 수 있다.

Abstract In the case of the Pilot Symbol Assisted Modulation (PSAM) method predicting and compensating amplitude and phases caused on fading channels, there can be severe performance deterioration by Doppler spread on fast fading channels. In this paper, the fading compensation method suggested so as to improve occurring problems as well as analyze them. Doppler spread is the major cause of the bit error rate(BER) performance deterioration. Compared to the existing PSAM method, the more performance deterioration occurs, the larger Doppler spread appears but performance shows well its less 10^{-2} BER performance than the existing PSAM method in the suggested method whereas the existing PSAM method has about 10^{-1} BER its considerable performance deterioration that caused by Doppler spread within a symbol cycle with the level of delay wave interference.

Key Words : Pilot Symbol Assisted Modulation, fading channels, Doppler spread

1. 서론

고속 모바일 통신 환경에서 고성능, 고전송률을 갖는 시스템을 위하여 페이딩의 영향을 보상하고 지연파의 영향에 의한 심볼간 간섭, ISI (Inter symbol Interference)을 극복할 수 있는 전송 시스템이 요구된다. 모바일 통신 환경은 수신 위치마다 전파 경로가 서로 다르고 한 수신점에서 수신기는 몇 개의 반사파를 동시에 받게 된다. 또한

각각의 반사파는 서로 다른 크기 및 위상을 가질 뿐만 아니라 지연정도가 다르기 때문에 정보 전송의 신뢰도를 높이는데 많은 어려움이 있다. 고속 전송의 경우 신호가 점유하는 대역폭이 넓게 되어 주파수 선택적 페이딩을 겪게 되는데 이 영향으로 인하여 전송 데이터에 심볼간 간섭이 발생하게 되면 신호의 왜곡이 더욱 심각하게 되어 오류가 급격히 증가하게 된다. 주파수 선택적 환경에서는 산발오류뿐 아니라 연집오류가 발생하게 되어 정보

*Corresponding Author : Jeong-Su Kim(Korea Soongsil Cyber Univ.)

Tel: +82-2-708-7862 email: kjs@mail.kcu.ac

Received April 17, 2013

Revised (1st June 7, 2013, 2nd June 11, 2013)

Accepted July 11, 2013

의 신뢰도가 급격히 떨어지게 된다. 수신된 신호에서 주파수 선택적 페이딩의 영향을 보상하는 기법에 대한 연구는 다양한 각도로 이루어져 왔다[1,4]. 파일럿 톤 동기 복조(pilot-tone aided coherent de-modulation)는 주파수 선택적 페이딩 채널에서 동기 복조의 성능을 높이기 위한 효율적인 방법이다. 그러나 이 기법은 파일럿 톤 (pilot-tone) 주입으로 인해 종종 반송파 주파수에서 spectral null이 생성될 뿐 아니라 복잡한 신호 처리가 필요하며 기저 대역에서 DC부근의 전력을 억압한다. 또한, 전송기 전력 증폭의 효율적인 동작을 위해서는 peak factor가 작은 쪽이 바람직하다는 단점을 감안하면 파일럿 톤 주입은 변조된 반송파의 peak factor를 증가시킨다는 단점이 있다. 다른 접근방식으로는 채널 특성들을 minimum mean squared 오류로 평가하는 MAP(Maximum A Posteriori) 검색기, MLE(Maximum Likelihood Estimation) 기법 등이 있으나 MAP와 MLE 송신기는 복잡한 신호처리 알고리즘과 구조를 요한다. 본 논문에서는 파일럿 심볼을 이용하여 플랫폼 페이딩에서 야기되는 진폭 및 위상 왜곡을 예측하여 보상하는 기존의 PSAM(Pilot Symbol Assisted Modulation) 기법에 대해 fast 페이딩에서 문제점을 분석하고 이를 개선하기 위한 가우시안 보간 GPSAM 기법을 제안한다. 또한 이동 통신에서 제한된 유용주파수로 인해 스펙트럼 효율이 우수하고 고품질과 고비트율 변조방식이 요구되므로 비교적 높은 스펙트럼 효율 달성을 위해 16QAM 변조방식을 이용한다. 기존의 PSAM 방식은 도플러 확산에 의해 매우 심각한 성능저하를 보이지만 본 논문에서 제안하는 방식은 도플러 확산이 클수록 성능저하는 발생하지만 기존 방식에 비해 BER 성능이 우수함을 알 수 있다.

1.1 도플러 확산에서 페이딩 효과

채널의 변화율에 대해서 전송된 기저대역신호가 얼마나 빠르게 변하는가에 의존하여 slow 페이딩 fast 페이딩을 결정되어질 수 있다. 그러므로 이동체의 속도는 신호의 slow 페이딩이나 fast 페이딩을 결정할 수 있다.

1.1.1 Slow 페이딩

Slow 페이딩 채널에서 채널 임펄스 응답은 전송된 기저대역신호보다 더 느리게 변한다. 이 경우, 주파수 영역에서 채널의 도플러 확산은 기저대역신호의 대역폭보다 더 작다. 도플러 확산(f_d)에 대한 비트율은 식 (1)의 범위를 갖는다.

$$f_d T \leq 10^{-4} \tag{1}$$

한 비트 내의 위상천이는 무시할 수 있기 때문에 slow 레일레이 페이딩 또는 “의사(quasi) 레일레이 페이딩”을 갖는다.

1.1.2 Fast 페이딩

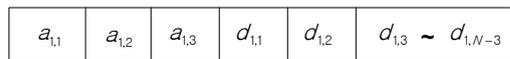
Fast 페이딩 채널에서, 채널 임펄스 응답은 심벌간격내에서 빠르게 변화한다. 즉, 채널의 동기시간은 전송된 신호의 심벌주기보다 더 적다. 이것은 도플러 확산의 원인이 되고, 신호의 왜곡을 유발시킨다. 도플러 확산(f_d)에 대한 비트율은 식(2)의 범위를 갖는다.

$$f_d T \geq 10^{-2} \tag{2}$$

이 경우에 빠른 도플러 천이의 원인에 의해 BER 저하를 초래한다[2].

2. fast 페이딩 환경에서 페이딩 보상 방식

기존 PSAM 방법은 미리 정한 파일럿 심볼을 일정한 주기마다 전송하여 수신단에서 페이딩 왜곡을 측정할 수 있도록 하며 다른 심볼의 페이딩 왜곡은 파일럿 심볼로 측정된 데이터를 이용하여 추정하는 방법으로 신호처리가 간단하다. 이러한 보상 방법은 플랫폼 페이딩 채널에서는 어느 정도 효과적이거나 fast 페이딩 환경에서는 파일럿 심볼 자체가 ISI에 의하여 심하게 왜곡되기 때문에 성능이 심하게 저하된다. 따라서 다중 파일럿 심볼을 이용하는 페이딩 보상 방법[1,3,5]가 연구되고 있으며, 다중 파일럿 심볼에 의한 보상 방법은 두 개 이상의 파일럿 심볼을 삽입하여 페이딩을 추정 보상하는 방법으로서 파일럿 심볼들간의 왜곡 정도가 추정이 가능하므로 이를 이용하면 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 Fig. 1과 같은 방법으로 파일럿 심볼을 삽입함으로써 성능 개선 방안을 제안하고자 한다.



[Fig. 1] Multi-pilot frame structure

$a_{k,m}$ 은 k번째 프레임의 m번째 파일럿 심볼을 나타내며 $d_{k,m}$ 은 k번째 프레임의 m번째 정보 심볼이다. 한 프레임의 길이를 N이라 하면, 프레임의 정보 심볼 수는 $N-3$ 이 된다. 파일럿 심볼은 $a + aj$, 0 , $a + aj$ 를 사용한다.

만약 잡음 전력이 매우 작고, 동일채널간섭을 AWGN으로 가정하면, 수신된 신호는 2파 모델에 의해 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = R_1(t)a(t) + R_2(t)a(t-\tau) \quad (3)$$

가 된다. $R_1(t), R_2(t)$ 는 각각 독립적인 레일레이 페이딩 신호이다. 동일채널간섭을 AWGN으로 가정했을 때의 오차는 1dB이내이다. 한 심벌 지연까지를 고려할 경우, τ ($\tau \leq 1$)만큼 지연된 신호는 식 (4)와 같이 선형 예측방식을 이용하여 나타낼 수 있다.

$$a(t-\tau) = a(t) - \tau [a(t) - a(t-1)] \quad (4)$$

송 · 수신기간의 동기가 이상적으로 맞다고 가정하면, 식 (3), (4)에 의해 첫 번째 프레임의 파일럿 위치에서 수신된 신호는 식 (5),(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(a_{1,2}) = R_1(a_{1,2}) \cdot a_{1,2} + R_2(a_{1,2}) \cdot [a_{1,2} - \tau (a_{1,2} - a_{1,1})] = \tau R_2(a_{1,2}) \cdot a_{1,1} \quad (5)$$

$$y(a_{1,3}) = R_1(a_{1,3}) \cdot a_{1,3} + R_2(a_{1,3}) \cdot [a_{1,3} - \tau (a_{1,3} - a_{1,2})] = [R_1(a_{1,3}) + R_2(a_{1,3}) \cdot (1-\tau)] \cdot a_{1,3} \quad (6)$$

두 번째 프레임의 파일럿 위치에서 수신된 신호는 다음과 같다.

$$y(a_{2,2}) = R_1(a_{2,2}) \cdot a_{2,2} + R_2(a_{2,2}) \cdot [a_{2,2} - \tau (a_{2,2} - a_{2,1})] = \tau R_2(a_{2,2}) \cdot a_{2,1} \quad (7)$$

$$y(a_{2,3}) = R_1(a_{2,3}) \cdot a_{2,3} + R_2(a_{2,3}) \cdot [a_{2,3} - \tau (a_{2,3} - a_{2,2})] = [R_1(a_{2,3}) + R_2(a_{2,3}) \cdot (1-\tau)] \cdot a_{2,3} \quad (8)$$

식 (5),(6)에서 식 (9),(10)을 얻을 수 있다.

$$y(a_{1,2})/a_{1,1} = \tau R_2(a_{1,2}) \quad (9)$$

$$y(a_{1,3})/a_{1,3} = [R_1(a_{1,3}) + R_2(a_{1,3}) \cdot (1-\tau)] \quad (10)$$

식 (7),(8)에서 식 (11),(12)를 얻을 수 있다.

$$y(a_{2,2})/a_{2,1} = \tau R_2(a_{2,2}) \quad (11)$$

$$y(a_{2,3})/a_{2,3} = [R_1(a_{2,3}) + R_2(a_{2,3}) \cdot (1-\tau)] \quad (12)$$

따라서, k 번째 프레임의 수신된 파일럿에서 페이딩 추정을 다음과 같이 할 수 있다.

$$f_{e1}(a_{k,2}) = \tau R_2(a_{k,2}) \quad (13)$$

$$f_{e2}(a_{k,3}) = [R_1(a_{k,3}) + R_2(a_{k,3}) \cdot (1-\tau)] \quad (14)$$

정보 심볼 $d_{1,1}, d_{1,2}$ 의 수신된 신호는 다음과 같다.

$$y(d_{1,1}) = R_1(d_{1,1}) \cdot d_{1,1} + R_2(d_{1,1}) \cdot [d_{1,1} - \tau (d_{1,1} - a_{1,3})] = [R_1(d_{1,1}) + R_2(d_{1,1}) \cdot (1-\tau)] \cdot d_{1,1} + \tau R_2(d_{1,1}) \cdot a_{1,3} \quad (15)$$

$$y(d_{1,2}) = R_1(d_{1,2}) \cdot d_{1,2} + R_2(d_{1,2}) \cdot [d_{1,2} - \tau (d_{1,2} - d_{1,1})] = [R_1(d_{1,2}) + R_2(d_{1,2})(1-\tau)] \cdot d_{1,2} + \tau R_2(d_{1,2}) \cdot d_{1,1} \quad (16)$$

k 번째 프레임의 m 번째 정보 심볼 $d_{k,m}$ 에 대해 가우시안 보간법을 이용하면 다음과 같이 페이딩을 추정할 수 있다.

$$f_{e1}(d_{k,m}) = (1 - \frac{m+1}{N}) \cdot f_{e1}(k) + (\frac{m+1}{N}) \cdot f_{e1}(k+1) \quad (17)$$

$$f_{e2}(d_{k,m}) = (1 - \frac{m}{N}) \cdot f_{e2}(k) + (\frac{m}{N}) \cdot f_{e2}(k+1) \quad (18)$$

식 (15),(16)에서 정보 심볼 $d_{1,1}, d_{1,2}$ 을 각각 구하면 식 (19),(20)과 같다.

$$d_{1,1} = [y(d_{1,1}) - \tau R_2(d_{1,1})a_{1,3}] / [R_1(d_{1,1}) + R_2(d_{1,1}) \cdot (1-\tau)] \quad (19)$$

$$d_{1,2} = [y(d_{1,2}) - \tau R_2(d_{1,2}) \cdot d_{1,1}] / [R_1(d_{1,2}) + R_2(d_{1,2}) \cdot (1-\tau)] \quad (20)$$

식 (19),(20)을 일반화하여 k 번째 프레임의 m 번째 추정된 정보 심벌은 다음 식 (21)과 같이 구해낼 수 있다.

$$\widehat{d}_{k,m} = \frac{[y(d_{k,m}) - \tau R_2(d_{k,m})\widehat{d}_{k,m-1}]}{[R_1(d_{k,m}) + R_2(d_{k,m}) \cdot (1-\tau)]} \quad (21)$$

여기에서, $\widehat{d}_{k,m-1}$ 은 추정된 정보 심벌 $\widehat{d}_{k,m}$ 의 전 심벌을 의미한다. 추정된 정보 심벌은 식 (13),(14)로부터 첫 번째 공통인자를 이용한 추정된 페이딩에서 추정된 전 정보 심벌을 곱한 후 수신신호에서 빼준 다음 두 번째 공통인자를 이용한 추정된 페이딩으로 나누어 줌으로써 식 (22)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\widehat{d}_{k,m} = [y(d_{k,m}) - f_{e1}(d_{k,m}) \cdot \widehat{d}_{k,m-1}] / f_{e2}(d_{k,m}) \quad (22)$$

전송된 심벌 $\widehat{d}_{k,m}$ 는 식 (23)에 의해 정해진다.

$$\widehat{d}_{k,m} = \text{sign}(d_{k,m}) \quad (23)$$

여기에서 $\text{sign}(\cdot)$ 은 다음과 같다.

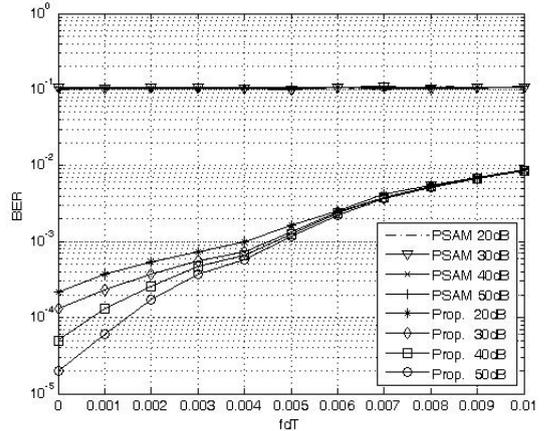
$$\text{sign}(x) = \begin{cases} a & x \geq \frac{2}{3}a \\ \frac{1}{a} & 0 < x \leq \frac{2}{3}a \\ -\frac{1}{a} & 0 > x \geq -\frac{2}{3}a \\ -a & -\frac{2}{3}a > x \end{cases} \quad (24)$$

3. 실험결과 및 성능분석

Fig. 2는 $T_s = 1/250000$, 프레임 길이 16, Ray2지연 0.5, Ray1과 Ray2의 전력을 같게 주었을 때, SNR를 각각 20dB, 30dB, 40dB, 50dB 환경에서 $f_d T$ 에 따른 기존 PSAM 방식과 제안된 시스템의 BER 특성을 보여주고 있다.

기존의 PSAM 방식의 경우 Ray2의 지연이 0.5 정도 영향을 미칠 때 SNR과 $f_d T$ 에 관계없이 10^{-1} 정도의 BER 특성을 보인다. SNR 50dB인 경우에도 $f_d T$ 와 상관없이 아주 심각한 성능저하를 보임을 알 수 있다. 즉, 지연과의 지연이 0.5 정도의 영향을 미치더라도 아주 심각한 성능저하를 보임을 알 수 있다. 제안된 방식의 경우 $f_d T$ 가

0.01에서 10^{-2} 이하의 BER 성능을 보이고 $f_d T$ 가 0.004 이하에서 10^{-3} 이하의 BER 성능을 보인다. 또한 SNR이 50dB의 경우 $f_d T$ 가 0.001일 때 10^{-4} 이하의 성능을 보인다.



[Fig. 2] BER performance of system based on $f_d T$ (SNR 20dB, 30dB, 40dB, 50dB)

4. 결론

플랫 페이딩 환경하에서 효율적으로 페이딩 보상을 하는 기존의 PSAM 방식과 제안된 방식을 분석하기 위해 SNR를 각각 20dB, 30dB, 40dB, 50dB 환경에서 $f_d T$ 에 따른 시스템의 BER 특성을 분석한 결과 기존의 PSAM 방식의 경우 도플러 확산에 의한 전 구간에서 10^{-1} 정도의 심각한 BER 성능 저하를 보인다. 제안된 방식의 경우 $f_d T$ 가 도플러 확산의 영향을 많이 받는 0.01에서 10^{-2} 이하의 BER 성능을 보이고 SNR이 50dB, $f_d T$ 가 0.001 환경에서 10^{-4} 이하의 BER 성능을 보인다. SNR 20dB에서 50dB, $f_d T$ 가 0.006이하 환경에서는 SNR이 큰 경우에서 제안된 방식의 성능 개선이 큰 것을 확인할 수 있었다. 기존 PSAM 방식의 경우에는 플랫폼페이딩 환경에서 페이딩 보상이 효율적으로 이루어지지만 주파수 선택적 fast 페이딩 채널에서 전 구간에서 심각한 성능 저하를 보임을 알 수 있고 제안된 방식은 도플러 확산이 클수록 성능 열하를 보이지만 도플러 확산의 영향이 적을수록 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

References

- [1] M. Jafar Taghiyar, Sami Muhaidat, Jie Liang, "On Pilot-Symbol-Assisted Cooperative Systems with Cascaded Rayleigh and Rayleigh Fading Channels with Imperfect CSI," Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT), pp.24 -31, November Edition, 2010.
- [2] Z. Tang and G. Leus, "Time-multiplexed training for timeselective channels," IEEE Signal Processing Letters, vol. 14, no. 9, pp. 585 - 588, Sept. 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/LSP.2007.896146>
- [3] M. Jafar Taghiyar, Sami Muhaidat, Jie Liang, "On the Performance of Pilot Symbol Assisted Modulation for Cooperative Systems with Imperfect Channel Estimation", in Proc. IEEE WCNC 10, pp. 1-5, Apr. 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/WCNC.2010.5506613>
- [4] H. Muhaidat, M. Uysal, and R. Adve, "Pilot-symbol-assisted detection scheme for distributed orthogonal space-time block coding," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 8, no. 3, pp. 1057-1061, March 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2009.070461>
- [5] Z. Tang, R. C. Cannizzaro, G. Leus, and P. Banelli, "Pilot assisted time-varying channel estimation for OFDM systems," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 55, no. 5, pp. 2226 - 2238, May 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TSP.2007.893198>

김 정 수(Jeong-Su Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 전북대학교 전북대학원 정보통신공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 전북대학교 전북대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2002년 6월 ~ 현재 : 송실사이버대학교 컴퓨터정보통신학과 부교수

<관심분야>

정보통신, 이동통신