

레이레이 페이딩 채널 보상을 위한 적응형 MPSAM 기술

김정수^{1*}

¹한국사이버대학교 컴퓨터정보통신학과

Adaptive MPSAM technology for Compensation of Rayleigh Fading Channels

Jeong-Su Kim^{1*}

¹Department of Computer and Information Communications, Korea Cyber University

요 약 본 논문에서는 파일럿 심벌을 이용하여 페이딩 채널에서 야기되는 진폭 및 위상 왜곡을 예측하여 보상하는 단일 파일럿 방식인 PSAM(Pilot Symbol Assisted Modulation) 방식에 대한 지연파의 영향을 받는 경우 발생하는 문제점 등을 분석하고, 이를 개선하기 위하여 적응형 MPSAM 방식을 제안한다. 또한, 기존 Basic 방식에 대해서도 분석했고 제안된 방식과 적절하게 점목시킴으로써 성능을 향상시킬 수 있었다. Basic 방식과 비교하면 제안된 방식이 지연파의 지연정도가 0.75 이하로 영향을 끼칠 경우 BER 성능이 상당히 우수함을 알 수 있지만 지연파의 지연정도가 심할수록 인접 심벌의 영향을 많이 받기 때문에 BER 성능이 열악하게 된다. 그러나 Basic 방식은 역방향 보상을 사용하기 때문에 오히려 지연파의 지연정도가 심한 부분에서 BER 성능이 향상됨을 알 수 있다. 그러므로 제안된 방식에 점목시킬 경우 한 심벌내 지연파의 영향을 받는 모든 영역 내에서 안정된 성능향상을 기대할 수 있다.

Abstract In this paper, the adaptive MPSAM is suggested in order to analyze and improve problems caused by the case of the impact of delay waves on Pilot Symbol Assisted Modulation (PSAM), a singular Pilot method. PSAM predicts and compensates amplitude and phases caused on fading channels, using the Pilot Symbol. In addition, the Basic method is not only analyzed but also grafted onto the suggested method properly; therefore, the performance could be improved. Comparing to the Basic method, the BER performance can be distinguished in case that the level of delay on delay waves with the suggested method goes below 0.7. On the other hand, the BER performance can be inferior due to a considerable effect of the adjacent symbol in the event that the level of delay on delay waves is worse. However, the BER performance is rather improved on the point where the level of delay on delay waves is serious because the Basic method uses reciprocal compensation. Hence, stable improvement can be expected in all areas which receive the influence of delay waves within one symbol once grafted onto the suggested method.

Key Words : MPSAM, Pilot Symbol Assisted Modulation, fading channels

1. 서론

이동통신시스템에서는 고속 멀티미디어 데이터의 신뢰성 있는 전송을 요구하며 고속 데이터의 신뢰성을 높이기 위해서는 고차 변조 기술 및 다중경로 페이딩 보상 기법이 요구되고 있다. 이동통신 전송로에서 다중 경로에 의한 페이딩은 수신파의 진폭이나 위상에 불규칙한 변동을 주어 통신 정보의 품질을 열화시키는 주된 원인이 된다.

다. 고속 전송의 경우에는 신호가 점유하는 대역폭이 넓게 되어 주파수 선택성 페이딩을 겪게 되는데 이로 인해 ISI(Inter symbol Interference)을 유발하므로 신호의 왜곡이 더욱 심각하게 되어 에러율이 급격히 증가하게 되고 이러한 환경하에서는 산발에러 뿐만 아니라 연접 에러가 발생하게 되어 정보의 신뢰도가 급격히 떨어지게 된다. 이를 극복하기 위해서는 본 논문에서는 파일럿 심벌을 이용하여 페이딩 전송로에서 야기되는 신호 레벨 예측

*교신저자 : 김정수(kjs@mail.kcu.ac)

접수일 10년 08월 27일

수정일 10년 10월 21일

게재확정일 10년 11월 19일

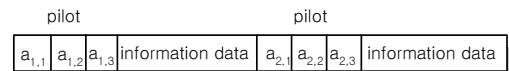
및 위상 보상을 알아내는 방법과 이를 이용하여 ISI를 극복하여 채널 특성을 보상하는 방법을 연구하고, 또한 이동 통신에서 제한된 유휴주파수로 인해 스펙트럼 효율이 우수하고 고품질과 고비트를 변조방식이 요구되므로 비교적 높은 스펙트럼 효율 달성을 위해 16QAM 변조방식을 이용한다.

본 논문에서는 파일럿 심벌을 이용하여 플랫폼 페이딩 전송로에서 야기되는 진폭 및 위상 왜곡을 예측하여 보상하는 단일 파일럿 방식인PSAM(Pilot Symbol Assisted Modulation) 시스템[1][4]의 한 심벌 이내의 지연파의 영향을 받는 경우 발생하는 문제점 등을 분석하고, 이를 개선하기 위하여 복수의 파일럿을 이용하는 다중 보상기법을 제안한다. 기존의 PSAM 방식에서는 파일럿 심벌을 이용하여 수신단에서 페이딩을 추정할 때 지연파의 간섭에 의해 페이딩 추정의 신뢰도가 떨어지게 된다. 이를 보완하기 위하여 각 프레임의 선두에 3개의 파일럿 심벌을 이용하면 한 신호 주기 이내의 지연파의 영향을 받는 경우 두 번째 파일럿 심벌은 지연파의 영향을 받는다고 하더라도 세 번째 파일럿 심벌 역시 페이딩 추정 보상에 이용되기 때문에 채널 환경 추정의 신뢰도를 높일 수 있다. 기존의 PSAM 방식에 비교해 보면, 한 심벌 주기 이내의 지연파의 간섭이 있는 환경에서는 기존의 PSAM 방식은 급격하게 에러가 증가하지만 본 논문에서 제안하는 다중 보상 시스템은 지연파의 지연정도와 비중에 크게 영향을 받지 않고 안정된 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 또한, 제안된 방식과 기존의 Basic 방식을 적절하게 접목시킴으로써 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 지연파의 지연정도에 따른 제안된 시스템의 성능을 분석해 본 결과 제안된 방식이 지연파의 지연정도가 0.75 이하로 영향을 끼칠 경우 Basic 방식과 비교하여 BER 성능이 상당히 우수함을 알 수 있지만 제안된 시스템에서는 지연파의 지연정도가 심할수록 인접 심벌의 영향을 많이 받기 때문에 BER 성능이 열악하게 된다. 그러나 Basic 방식은 지연파의 영향이 큰 쪽에서 역방향 보상을 사용했기 때문에 오히려 지연파의 영향을 많이 받는 쪽에서 BER 성능이 상당히 향상되었음을 알 수 있다. 그러므로 이 두가지 방식을 접목시킬 경우 한 심벌내의 지연파의 영향을 받는 모든 영역내에서 안정된 성능향상을 기대할 수 있다.

2. 주파수 선택적 레일레이 페이딩 환경에서 페이딩 보상 방안

PSAM 방법은 미리 정한 파일럿 심벌을 일정한 주기마다 전송하여 수신단에서 페이딩 왜곡을 측정 할 수 있

도록 하며 다른 심벌의 페이딩 왜곡은 파일럿 심벌로 측정된 데이터를 이용하여 추정하는 방법으로 신호처리가 간단하다. 기존의 PSAM을 이용한 보상 방법은 플랫폼 페이딩 채널에서는 어느 정도 효과적이거나 주파수 선택적 페이딩 환경에서는 파일럿 심벌 자체가 ISI에 의하여 심하게 왜곡되기 때문에 성능이 열화된다. 따라서 다중 파일럿 심벌을 이용하는 페이딩 보상 방법[2][3][5]이 연구되고 있으며, 다중 파일럿 심벌에 의한 보상 방법은 두 개 이상의 파일럿 심벌을 삽입하여 페이딩을 추정 보상하는 방법으로서 파일럿 심벌들간의 왜곡 정도가 추정이 가능하므로 이를 이용하면 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 그림 1과 같은 방법으로 파일럿 심벌을 삽입함으로써 성능 개선과 함께 파일럿 삽입으로 인한 전력 손실을 줄일 수 있는 방안을 제시한다.



[그림 1] 다중 파일럿 프레임의 구조

전송 프레임의 구조는 그림 1과 같고, 여기서 $a_{k,m}$ 는 k 번째 프레임의 m 번째 파일럿 심벌이고 정보 데이터에서 $d_{k,m}$ 은 k 번째 프레임의 m 번째 데이터 심벌이다. 따라서 한 프레임의 길이가 N 이면 데이터 심벌은 $N-3$ 이고, 파일럿 심벌은 $0, 3+3j, 0$ 값으로 3개가 삽입된다. 잡음 전력 N_0 가 매우 작다고 가정하고, 수신된 신호를 2파 모델(2-ray Rayleigh model)에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = c_1(t)a(t) + c_2(t)a(t-\tau) \quad (1)$$

여기서, $c_1(t), c_2(t)$ 는 각각 독립적인 레일레이 페이딩 신호이고 $a(t)$ 는 지연되지 않는 원 신호이고 $a(t-\tau)$ 는 인접한 심벌이 τ 만큼 지연됨을 의미하며, $a(t-1)$ 는 한 심벌 지연된 인접 신호를 뜻한다.

따라서 선형 예측방식을 이용하여 지연된 신호를 수식으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$a(t-\tau) = a(t) + \tau [a(t-1) - a(t)] \quad (2)$$

송·수신기간의 동기가 이상적으로 맞다고 가정하면, 식 (1),(2)에 의해 수신된 첫 번째 프레임의 파일럿의 위치에서 두 번째와 세 번째 파일럿의 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서, $a_{k,m}$, $d_{k,m}$ 는 각각 k 번

째 프레임 상에서 m 번째 파일럿 심벌과 데이터 심벌에 해당하는 데이터 값이다. 또한 $a_{1,1}$, $a_{1,3}$ 는 데이터 값이 0인 파일럿 심벌이다.

$$y(a_{1,2}) = c_1(a_{1,2})a_{1,2} + c_2(a_{1,2})[a_{1,2} + \tau(a_{1,1} - a_{1,2})] \\ = [c_1(a_{1,2}) + c_2(a_{1,2})(1-\tau)]a_{1,2} \quad (3)$$

$$y(a_{1,3}) = c_1(a_{1,3})a_{1,3} + c_2(a_{1,3})[a_{1,3} + \tau(a_{1,2} - a_{1,3})] \\ = \tau c_2(a_{1,3})a_{1,2} \quad (4)$$

일반식을 유도하고자 두 번째 프레임의 파일럿 위치에서 마찬가지로 방법으로 수신 신호를 구하면 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다. 여기서, $a_{2,1}, a_{2,3}$ 는 데이터 값이 0인 파일럿 심벌이다.

$$y(a_{2,2}) = c_1(a_{2,2})a_{2,2} + c_2(a_{2,2})[a_{2,2} + \tau(a_{2,1} - a_{2,2})] \\ = [c_1(a_{2,2}) + c_2(a_{2,2})(1-\tau)]a_{2,2} \quad (5)$$

$$y(a_{2,3}) = c_1(a_{2,3})a_{2,3} + c_2(a_{2,3})[a_{2,3} + \tau(a_{2,2} - a_{2,3})] \\ = \tau c_2(a_{2,3})a_{2,2} \quad (6)$$

식 (3),(4),(5),(6)식에서 각각의 파일럿 값으로 나누어 주면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(a_{1,2})/a_{1,2} = [c_1(a_{1,2}) + c_2(a_{1,2}) \cdot (1-\tau)] \quad (7)$$

$$y(a_{1,3})/a_{1,2} = \tau c_2(a_{1,3}) \quad (8)$$

$$y(a_{2,2})/a_{2,2} = [c_1(a_{2,2}) + c_2(a_{2,2}) \cdot (1-\tau)] \quad (9)$$

$$y(a_{2,3})/a_{2,2} = \tau c_2(a_{2,3}) \quad (10)$$

따라서 k 번째 프레임의 수신된 파일럿에서 페이딩 추정 인자를 $y(a_{k,2})/a_{k,2} = c_{e1}(a_{k,2})$ 라 하면, (7),(9)식으로부터 (11)식이 유도되고 마찬가지로 (8),(10)식으로부터 (12)식이 유도된다.

$$c_{e1}(a_{k,2}) = [c_1(a_{k,2}) + c_2(a_{k,2}) \cdot (1-\tau)] \quad (11)$$

$$c_{e2}(a_{k,3}) = \tau c_2(a_{k,3}) \quad (12)$$

수신된 k 번째 프레임의 m 번째 데이터 값을 $d_{k,m}$ 이라 하면 $d_{1,1}, d_{1,2}$ 데이터 값에서 수신된 신호는 같은 방법으로 식 (1),(2)에 의해서 각각 다음과 같이 표현된다. 여기서, $a_{1,3}$ 는 데이터 값이 0인 파일럿 심벌이다.

$$y(d_{1,1}) = c_1(d_{1,1})d_{1,1} + c_2(d_{1,1})[d_{1,1} + \tau(a_{1,3} - d_{1,1})] \\ = [c_1(d_{1,1}) + c_2(d_{1,1})(1-\tau)]d_{1,1} \quad (13)$$

$$y(d_{1,2}) = c_1(d_{1,2})d_{1,2} + c_2(d_{1,2})[d_{1,2} + \tau(d_{1,1} - d_{1,2})] \\ = [c_1(d_{1,2}) + c_2(d_{1,2})(1-\tau)]d_{1,2} + \tau c_2(d_{1,2})d_{1,1} \quad (14)$$

프레임의 길이를 N 이라 할 때, 2차 가우시안 보간법을 이용하여 k 번째 프레임의 m 번째 데이터 심벌 $d_{k,m}$ 에 대하여 첫 번째와 두 번째 공통인자로 다음과 같이 각각의 페이딩을 추정한다.

$$c_{e1}(d_{k,m}) = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{m+1}{N} \right)^2 - \frac{m+1}{N} \right\} \cdot c_{e1}(a_{k-1,2}) \\ + \left\{ 1 - \left(\frac{m+1}{N} \right)^2 \right\} \cdot c_{e1}(a_{k,2}) \\ + \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{m+1}{N} \right)^2 + \frac{m+1}{N} \right\} c_{e1}(a_{k+1,2}) \quad (15)$$

$$c_{e2}(d_{k,m}) = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{m}{N} \right)^2 - \frac{m}{N} \right\} \cdot c_{e2}(a_{k-1,3}) \\ + \left\{ 1 - \left(\frac{m}{N} \right)^2 \right\} \cdot c_{e2}(a_{k,3}) \\ + \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{m}{N} \right)^2 + \frac{m}{N} \right\} \cdot c_{e2}(a_{k+1,3}) \quad (16)$$

식 (13)과 (14)에서 정보 심벌 $d_{1,1}, d_{1,2}$ 을 구하면 다음과 같다.

$$d_{1,1} = y(d_{1,1})/[c_1(d_{1,1}) + c_2(d_{1,1}) \cdot (1-\tau)] \quad (17)$$

$$d_{1,2} = [y(d_{1,2}) - \tau c_2(d_{1,2}) \cdot d_{1,1}]/[c_1(d_{1,2}) \\ + c_2(d_{1,2}) \cdot (1-\tau)] \quad (18)$$

윗식을 일반화하여 k 번째 프레임의 m 번째 추정된 데이터 심벌 $\hat{d}_{k,m}$ 은 다음과 같이 구한다.

$$\hat{d}_{k,1} = y(d_{k,1})/[c_1(d_{k,1}) + c_2(d_{k,1}) \cdot (1-\tau)] \quad (19)$$

$$\hat{d}_{k,m} = \frac{[y(d_{k,m}) - \tau c_2(d_{k,m}) \cdot \hat{d}_{k,m-1}]}{[c_1(d_{k,m}) + c_2(d_{k,m}) \cdot (1-\tau)]} \quad (20)$$

윗식에서 첫 번째 정보 데이터 $\hat{d}_{k,1}$ 은 수신 신호를 첫 번째 공통인자를 이용한 추정된 페이딩으로 나누어줌으로서 식 (21)과 같이 나타낼 수 있고, 두 번째 부터 추정된 정보 데이터 $\hat{d}_{k,m}$ 은 식 (22)과 같이 구할 수 있다. 여

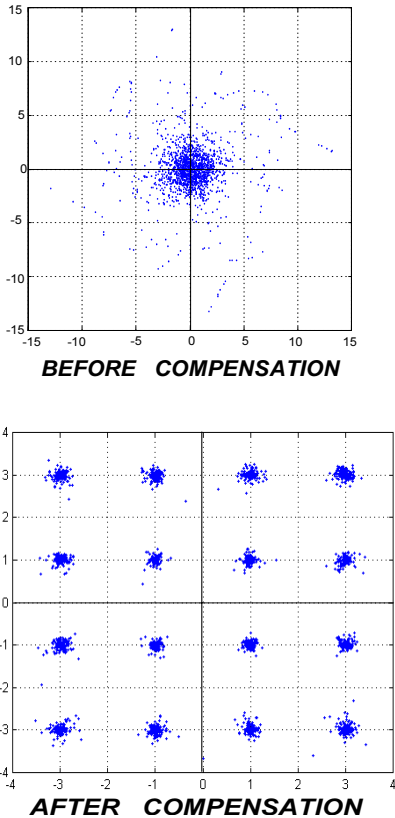
기서, $\tilde{d}_{k,m-1}$ 은 추정된 정보 심벌 $\hat{d}_{k,m}$ 의 전 심벌을 의미한다.

$$\hat{d}_{k,1} = y(d_{k,1})/c_{e1}(d_{k,1}) \quad (21)$$

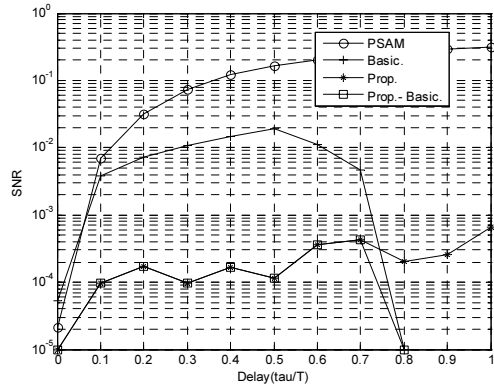
$$\hat{d}_{k,m} = \frac{[y(d_{k,m}) - c_{e2}(d_{k,m}) \cdot \tilde{d}_{k,m-1}]}{c_{e1}(d_{k,m})} \quad (22)$$

3. 실험결과 및 성능분석

그림 2는 주파수 선택적 레일리 페이딩 환경에서 제안한 방식의 다중 파일럿을 이용한 페이딩 보상 전후의 16QAM 신호 정상도이다. $f_d T = 0.003$ (f_d : Maximum Doppler frequency, T : Symbol duration) 이고, 한 심벌 지연을 1로 가정할 때 지연과의 지연 정도를 0.5, dB=30dB로 하여 시뮬레이션을 하였고 이때 BER= 10^{-3} 이다. 결과적으로 제안한 방법이 정상도상에서 각 점에 집중되어 있음을 알 수 있다.



[그림 2] 주파수 선택적 레일리 페이딩 환경에서 페이딩 보상전후 신호 정상도



[그림 3] Ray2의 지연정도와 SNR에 따른 파일럿 방식의 성능

[그림 3]은 파일럿을 이용한 세 가지 방식과 혼합 방식을 보여주고 있다[1][2][4]. $f_d T = 0.005$ ($f_d = 1250$, $T_s = 1/250000$), 프레임 길이 16, SNR=60dB, 직접파와 지연파의 전력을 같게 하여 성능평가를 해 보았다. 기존의 PSAM 방식은 한 심벌 지연이 1일 때 지연정도가 0.1 이상만 되더라도 BER 성능이 10^{-2} 이하로 매우 열악하게 됨을 알 수 있다. 또한 Preamble과 Postamble를 적용한 기존 Basic 방식의 경우 지연파 지연이 1 심벌에 가까운(0.75 이상인) 경우 성능이 우수하지만 그 이외의 지연에서는 제안된 방식의 성능이 좋음을 확인할 수 있다. Basic 방식은 지연정도가 0.5 정도에서 10^{-2} 정도로 성능이 악화되지만 지연파의 영향이 많을수록 성능이 향상됨을 알 수 있다. 이는 역방향 보상을 하여 계산량은 증대되지만 역방향 보상이 잘 이루어 졌음을 알 수 있다. 제안된 다중 보상 방식은 지연파의 영향과 상관없이 10^{-3} 이하의 성능을 보임을 알 수 있다. 제안된 방식에 지연파의 지연정도가 심한 부분에 Basic 방식을 적용하여 지연정도가 0.8 이상에서는 10^{-5} 이하의 성능향상을 보임을 알 수 있다.

결론적으로 PSAM 방식은 단일 파일럿 심벌을 사용하는 보상 방법으로 페이딩에 대한 추정 보상 정도가 열악함을 알 수 있고 Basic 방식의 경우 다중 파일럿 심벌을 이용한 방식으로 많은 계산량이 필요하지만 지연파의 지연정도가 심하지 않은 경우에도 제안된 방식에 비해 성능 향상이 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 제안된 방식의 경우 지연정도가 1심벌 이내에서는 모든 영역 내에서 안정적인 성능 향상을 보임을 알 수 있다. 또한 지연정도가 0.7이하에서는 Basic 방식이 제안된 방식에 비해 성능이 열악하지만 지연정도가 심한 부분에 성능이 급격히 좋아지는 특성을 고려해 제안된 방식에 역방향 보상을

이용하면 지연정도가 심한 부분에서도 더욱 안정된 성능 향상을 기대할 수 있다.

4. 결론

지연파의 영향이 없는 주파수 비선택적 페이딩 환경서 효율적으로 페이딩을 보상할 수 있는 PSAM 방식은 성능 분석결과 주파수 선택적 페이딩에서는 지연파의 지연정도가 0.2 이상만 되더라도 10^{-2} 이하의 심한 성능 열화를 가져온다.

제안된 방식은 지연파의 지연정도가 0.75 이하로 영향을 끼칠 경우 Basic 방식과 비교하여 BER 성능이 상당히 우수함을 알 수 있다. Basic 방식은 0.5 심별 정도의 지연에서 특히 열악한 성능을 보이지만 지연정도가 0.8 이상일 때는 BER 성능이 10^{-5} 이하의 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 제안된 방식에서는 지연파의 지연정도가 심할수록 인접심별의 영향을 많이 받기 때문에 BER 성능이 열악하게 된다. 그러나 Basic 방식은 지연파의 영향이 큰 쪽에서 역방향 보상을 사용했기 때문에 오히려 지연파의 영향을 많이 받는 쪽에서 BER 성능이 상당히 향상되었음을 알 수 있다. 제안된 페이딩 추정·보상기술은 N개의 프레임에 3개의 파일럿 사용으로 인한 잉여전력이 소모되고 있지만, 잡음이 충분히 작고, 지연된 심별의 선형적 근사화가 올바르게 되어진다면 성능향상을 기대할 수 있다. 또한 비록 두 배의 계산량이 필요한 Basic 방식이지만 지연파의 지연정도가 큰 부분에서 오히려 성능이 급격히 좋아지는 이점을 이용해 제안 방식에 접목한다면 지연파의 영향을 받는 모든 영역내에서 안정된 성능향상을 기대할 수 있다.

참고문헌

[1] Lei Chen and Bernard Mulgrew "A ROBUST CHANNEL ESTIMATOR AT THE HIGH DOPPLER FREQUENCY VIA MATCHING PURSUIT TECHNIQUE", (EUSIPCO 2008), Lausanne, Switzerland, August 25-29, 2008.

[2] 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.

[3] T. Zemen and C. F. Mecklenbräuer, "Time-variant channel estimation using discrete prolate spheroidal

sequences," IEEE Trans. Signal Processing, vol. 53, no. 9, pp. 3597-3607, Sept. 2005.

[4] L. Tong, B. M. Sadler, and M. Dong, "Pilot-assisted wireless transmissions: general model, design criteria, and signal processing," IEEE Signal Processing Magazine, vol. 21, no. 6, pp. 12-25, Nov. 2004.

[5] Z. Tang and G. Leus, "Time-multiplexed training for time-selective channels," IEEE Signal Processing Letters, vol. 14, no. 9, pp. 585-588, Sept. 2007.

김 정 수 (Jeong-Su Kim)

[정회원]



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

<관심분야>

이동통신, 정보통신, 멀티미디어통신