
선택형 파일럿 중첩 채널예측기법을 적용한 OFDM 기반 DSRC 시스템의 성능개선

곽재민*

Performance Improvement of OFDM based DSRC System adopting Selective Pilot Overlay Channel Estimation Scheme

Jae-Min Kwak*

요약

본 논문에서는 선택형 중첩 파일럿 채널예측기법을 적용하여 페이딩 채널환경에서의 OFDM기반 DSRC 시스템의 성능을 개선시킬 수 있는 통신 시스템 모델을 제안한다. OFDM 기반의 DSRC에 대한 표준화 작업이 진행중인 IEEE802.11p의 물리계층을 따르는 OFDM 시스템에 대해서 AWGN 및 페이딩이 존재하는 채널을 고려하여 시스템 성능을 구해내고, 제안하는 선택형 파일럿 중첩 채널예측기법을 적용하는 OFDM기반 DSRC 시스템의 성능과 비교한다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 시스템이 채널 예측 에러를 감소시켜 기존 방식에 비해 우수한 성능을 나타냄 보인다.

ABSTRACT

In this paper we propose the communication system model which improve the performance of OFDM based DSRC system by adopting selective pilot overlay channel estimation scheme. Assuming AWGN and fading channel environment, the performance of OFDM system according to IEEE802.11p physical layer being standardized for OFDM based DSRC is obtained, and the performance of proposed OFDM based DSRC system adopting selective pilot overlay channel estimation scheme is compared with the conventional system. From the simulation results, it is shown that proposed system is superior to conventional one due to reducing channel estimation error.

키워드

OFDM, Pilot overlay, Channel estimation, DSRC

I. 서론

DSRC(Dedicated Short Range Communication) 시스템은 근거리 전용 무선통신방식으로서 ITS (Intelligent Transport Systems)을 구축하기 핵심 통신기술이다. 현재 전 세계적으로 ETC (Electronic Toll Collection) 등의 도로

통행요금자동징수 시스템의 통신모듈로 이용되고 있다 [1]. 그러나 ASK 변조기법을 이용하는 기존의 DSRC 통신 방식으로는 차량에서의 무선 인터넷을 포함하는 ITS에서 요구하는 다양한 서비스를 수용하는 데 전송용량의 한계가 있다. 이러한 다양한 서비스에 대한 요구를 수용하기 위해 표준화 작업반 IEEE802.11p에서는 이동환경에서

의 고속 전송이 가능한 OFDM기반의 5.9GHz 대역 DSRC 규격을 개발하고 있으며, 이미 FCC에서는 5.850GHz~5.925GHz 대역을 차세대 OFDM 기반 차세대 DSRC를 위한 주파수 대역으로 할당해 주었다[2].

기존의 OFDM 방식을 채택하는 IEEE 802.11a나 HIPERLAN/2와 같은 무선 패킷 전송시스템들에서는 송·수신단간의 무선 채널에서 페이딩이 발생하여 수신단에서는 채널 등화를 위한 채널 예측과정이 필요하게 된다 [3],[4]. 그러나, 수신기의 이동속도를 고려한 실내무선 채널의 특성을 고려할 때, 패킷 길이는 채널의 시변특성에 비해 매우 짧아서 프레임 길이에 대응되는 시간동안 채널 상태가 거의 일정하다고 가정할 수 있으므로 채널예측에 대한 문제를 상당히 간단하게 해결할 수 있다[5]. 그러나 OFDM 방식을 채용하는 차세대 DSRC는 차량에 탑재되어 고속 이동 중에 무선통신을 수행해야 하므로 채널의 상태가 상대적으로 급격히 변동하므로 정지 및 저속 이동 환경에서 적용되었던 기존의 무선랜에 적용되던 OFDM 시스템과는 다르게 한 프레임 내에서도 채널의 변동이 발생한다고 가정하여야 한다. 이러한 시변채널 환경에 대한 대처기법을 위해 본 논문에서는 데이터 심볼과 상관값이 작은 파일럿 시퀀스를 중첩시켜 전송시켜 채널예측에 활용함으로써, 기존의 훈련심볼을 적용하는 통신방식에 비해 데이터 전송률도 향상시키고 시변채널에서의 성능을 개선시킬 수 있는 선택형 파일럿 중첩 채널 예측기법을 적용한다. 즉, OFDM 데이터 심볼에 상관도가 낮은 파일럿 시퀀스를 선택하여 중첩시키고 수신단에서 이를 예측하여 심볼 구간 단위로 채널을 추정하여 등화를 수행하는 선택형 파일럿 중첩 채널예측기법을 적용하는 OFDM기반 DSRC 시스템을 제안한다.

시뮬레이션을 통해 제안한 시스템 모델이 시변페이딩 채널 환경에서 훈련심볼을 사용하는 기존의 IEEE802.11p 시스템에 비해 성능이 우수함을 보인다.

II. 시스템 모델

2.1. IEEE802.11p 시스템 모델

IEEE802.11p에서 정의하는 OFDM기반 DSRC 시스템은 5.850GHz~5.925GHz 대역을 사용하여 3~27Mbps의 전송률을 지원하는 고속 무선 통신방식의 MAC과 물리계층에 대한 규격으로서 IEEE802.11a기술을 기반으로 고

속 이동환경에서 응용되도록 정의 되어 있다. 따라서 시스템 구조와 프레임 포맷은 IEEE802.11a의 물리계층과 거의 동일하지만 기본적으로 주파수 대역폭을 10MHz 단위로 사용하게 되어 있으며, 이에 따라 전송률 및 타이밍 및 시스템 파라미터가 수정되어 사용된다.

그림 1은 IEEE802.11p 기반 OFDM DSRC 시스템의 시스템 모델이다. 이 시스템에서 지원하는 통신 속도는 3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27Mbps이고 3, 6, 12Mbps는 필수 전송률이다. 본 논문에서의 시뮬레이션에서는 6Mbps QPSK 전송모드를 적용하였다.

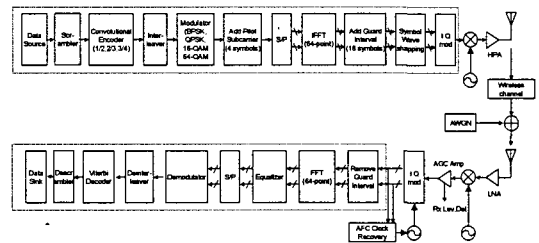


그림 1. IEEE802.11p 시스템 모델
Fig. 1. IEEE802.11p system model

송수단에서 입력 데이터는 스크램블링되고 길쌈 부호기와 인터리버를 거쳐서 부반송파로 변조되는데, 이때 전송률에 따라서 각기 다른 부호율, 인터리빙 크기 및 변조방식을 갖게 된다. 그 후, 4개의 파일럿 톤이 데이터 부반송파에 더해져서 총 52개의 부반송파가 IFFT를 통과하여 하나의 OFDM 심볼을 형성하며, 여기에 보호구간을 삽입한 뒤 윈도우를 취하여 전송하게 된다.

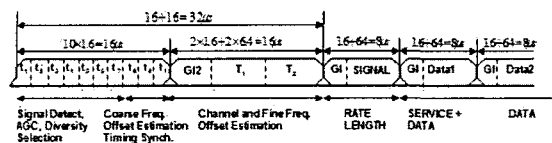


그림 2. IEEE802.11p 프리앰블 훈련심볼 구조
Fig. 2. IEEE802.11p preamble training symbol structure

그림 2에 보인 PLCP 프리앰블 필드의 구조를 통해 알 수 있듯이 총 프리앰블 구간은 32us이고 개략적인 주파수 오프셋 예측을 위해 사용되는 10개의 짧은 훈련심볼과 정밀 주파수 오프셋 예측 및 채널 예측을 위해 사용되는 2개의 긴 훈련심볼로 구성되어 있다.

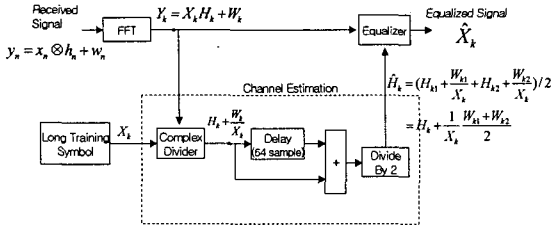


그림 3. IEEE802.11p 에 적용되는 기존의 채널예측기법

Fig. 3. Conventional channel estimation for IEEE802.11p

그림 3은 기존의 채널추정 알고리즘에 대한 블록도를 나타낸다. 수신되는 프레임을 FFT 취하여 주파수 영역의 데이터로 변환한 후, 그 중 긴 훈련심볼 두개(128샘플)를 추출해내어 수신단에서 기준신호로 가지고 있는 긴 훈련심볼로 나누어서 잡음이 포함되어 있는 128 샘플의 채널 응답계수를 얻어낸다. 수신되는 시간영역의 OFDM 신호를 식 (1)과 같이 표현한다. 수신 신호의 n번째 시간샘플 y_n 과 FFT를 취한후의 수신신호의 i번째 샘플 Y_i 는 다음과 같은 수식으로 표현 할 수 있다.

$$y_n = x_n \otimes h_n + w_n \quad (1)$$

$$Y_i = X_i H_i + W_i \quad (2)$$

여기서, \otimes 는 컨벌루션 기호이고, x_n, h_n, w_n 은 각각 송신신호, 채널, 잡음의 n번째 시간샘플이고 X_i, H_i, W_i 는 각각 송신신호, 채널, 잡음의 n번째 주파수 영역 샘플이다.

FFT 후의 샘플 Y_i 를 수신단의 긴 훈련심볼로 나누어 구해낸 샘플에 대한 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{Y_i}{X_i} = (X_i H_i + W_i) / X_i = H_i + W_i / X_i \quad (3)$$

식 (3)에 의해 구해지는 샘플들을 64샘플씩 두 개로 구분하여 평균을 취해서 최종적인 채널응답의 예측값을 구하고 등화계수로 이용한다.

2.2. 제안 시스템 모델

본 논문에서 적용하는 중첩 파일럿 채널예측기법을 적용하는 경우의 프레임 포맷 개념도를 그림 4에 나타낸다.

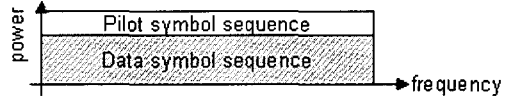


그림 4. 파일럿 중첩 채널예측기법을 적용하는 프레임 포맷 개념도

Fig. 4. Conceptual frame format for pilot overlay channel estimation

기존의 OFDM 기반 DSRC시스템에서는 훈련심볼에 해당하는 파일럿을 프레임 앞에 삽입하여 사용하므로 파일럿이 전송중인 경우에는 데이터가 전송될 수 없지만, 파일럿 중첩 채널예측기법을 적용하는 프레임 포맷에 따르면 데이터 심볼들이 파일럿 심볼과 동시에 전송될 수 있다. 뒤에서 설명이 되겠지만, 파일럿 중첩 채널예측기법에서는 송신부와 수신부에서 미리 각각 m개의 후보 파일럿 시퀀스를 준비해 놓고 있으며, 송신부에서의 변조기 출력과 상관도가 가장 낮은 파일럿 시퀀스를 선택하여 중첩 전송하고, 수신부에서는 수신된 신호로부터 송신부에서 사용한 파일럿 시퀀스를 예측해서 수신기 신호처리에 사용하는 방법이다.

그림 5는 선택형 파일럿 중첩 채널 예측기법을 적용하는 OFDM기반 DSRC 시스템에 대하여 기존 IEEE802.11p 물리계층에서 변경되어야 할 부분에 대한 시스템 모델을 나타낸다. 그림에는 송신부에 대하여 변조기 이후부터 IFFT 사이에 삽입될 블록과 수신부에 대하여 FFT이후 복조기 사이에 삽입되어야 할 부분의 블록만을 표시하였다.

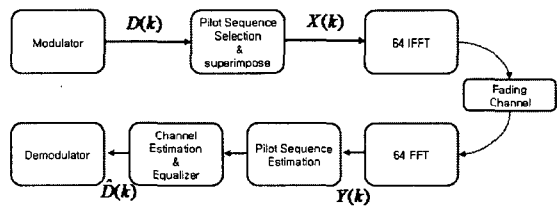


그림 5. 선택형 파일럿 중첩 채널예측기법을 적용하는 제안 시스템 모델

Fig. 5. System model adopting selective pilot overlay channel estimation scheme

송신부의 파일럿 시퀀스 선택 및 중첩부에서는 미리 할당된 m개의 파일럿 시퀀스 집합 각각을 BPSK로 변조시켜 놓고 이를 Modulator 블록의 출력과 상관을 취해서 상관값이 가장 작은 파일럿 시퀀스를 선택하여 데이터 심볼 시퀀스와 중첩시켜서 출력시키고 이 출력 신호는

64point IFFT를 거쳐 OFDM신호로 변환된다.

파일럿 시퀀스 선택 및 중첩부의 출력 신호는 다음 식과 같이 표현된다.

$$X(k) = \frac{D(k) + \rho P_i(k)}{\sqrt{1 + \rho^2}} \quad (3)$$

여기서, k 는 시간에 대한 이산 샘플 인덱스이고 $\mathbf{x} = \{X(0), X(1), \dots, X(k), \dots, X(L-1)\}$ 는 선택 및 중첩부에 대한 출력 시퀀스를 나타내고, $\mathbf{D} = \{D(0), D(1), \dots, D(k), \dots, D(L-1)\}$ 은 변조부 출력 데이터 심볼 시퀀스에 대한 표현이며, $\mathbf{P}_i = \{P_i(0), P_i(1), \dots, P_i(k), \dots, P_i(L-1)\}$ 는 i 번째 파일럿 심볼 시퀀스이고, L 은 데이터와 파일럿 심볼 시퀀스의 길이로서 OFDM 심볼의 샘플수를 나타내고, ρ^2 는 파일럿 심볼 전력과 데이터 심볼 전력의 비를 결정하는 파라미터이다.

수신부의 파일럿 시퀀스 예측부에서는 송신부에서 선택된 파일럿 시퀀스를 예측하기 위해 수신부의 FFT출력 시퀀스와 송신기에 할당되었던 모든 파일럿 심볼 시퀀스들 사이의 상관값들 M_j 를 계산한다.

$$M_j = \sum_{k=0}^{L-1} \frac{P_i(k)}{|P_i(k)|^2} \left[\frac{H(k) \sum_{k=0}^{L-1} \frac{P_i(k)}{|P_i(k)|^2}}{\sqrt{\rho}} + \sum_{k=0}^{L-1} \frac{P_i(k)}{|P_i(k)|^2} \right] \quad (4)$$

이때, 최대 상관값(M_{max})을 가지는 파일럿 심볼 시퀀스 \hat{P} 를 골라내고 \hat{P} 을 이용한 상관 최대값 M_{max} 로부터 채널 계수 예측치 \hat{H} 을 구해낼 수 있다.

$$\hat{H} = H \left\{ 1 + \sum_{k=0}^{L-1} \frac{D(k) \frac{P_i(k)}{|P_i(k)|^2}}{\rho L} + \sum_{k=0}^{L-1} \frac{M(k) \frac{P_i(k)}{|P_i(k)|^2}}{\rho L} \right\} \quad (5)$$

윗 식으로부터 ρL 이 증가함에 따라 파일럿 심볼 시퀀스와 데이터 심볼 시퀀스 간의 상관치와 파일럿 심볼 시퀀스와 잡음 시퀀스와의 상관치가 감소하게 되어 채널 예측의 정밀도가 증가하게 됨을 예상할 수 있다.

식(5)에서 구한 채널 예측치로부터 등화기를 통해 데이터 시퀀스의 예측치 \hat{D} 을 추출해 낸 후 복조기를 거쳐 원신호를 복원해 낼 수 있다.

수신부의 FFT출력 신호 $Y(k)$ 와 이에 대해 채널 예측치 \hat{H} 로 나누어진 데이터 심볼에 대한 예측치 $\hat{D}(k)$ 는 다음식과 같이 표현된다.

$$Y(k) = H(k)X(k) + N(k) = H(k) \frac{D(k) + \rho P_i(k)}{\sqrt{1 + \rho^2}} + N(k) \quad (6)$$

$$\hat{D}(k) = \sqrt{1 + \rho^2} X(k) - \rho P_i(k) \quad (7)$$

III. 채널 모델

본 논문에서 시뮬레이션을 위해 사용된 채널 모델은 시변 주파수 선택성 페이딩 모델이다.

표 1. 수정된 HIPERLAN/2 모델 D의 프로파일
Table. 1 Modified HIPERLAN/2 model D profile

Tap number	delay (ns)	Average Relative Power (dB)	Ricean Factor	Doppler Spectrum
1	0	0.0	10	Class+Spike
2	100	-1.55	0	Class
3	200	-3.54	0	Class
4	300	-7.03	0	Class
5	400	-8.98	0	Class
6	500	-14.29	0	Class
7	600	-15.80	0	Class
8	700	-inf	0	Class
9	800	-19.59	0	Class
10	900	-22.68	0	Class
11	1000	-inf	0	Class
12	1100	-27.70	0	Class

성능 평가를 위해 수정된 HIPERLAN/2 채널 시뮬레이션 모델 D의 지연 프로파일을 적용하였다. HIPERLAN/2

채널모델은 [6]에 제시된 바와 같은 TDL(Tapped Delay Line) 형태의 모델이다. HIPERLAN/2 모델 D는 실내 또는 실외 환경에 적용되는 LOS(Line of Sight)조건을 만족하며, rms(Root Mean Square) 지연확산은 약 140ns이다. 시뮬레이션에 사용된 수정된 모델 D의 프로파일을 표 1에 나타내었다.

IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통해 기존의 IEEE802.11p 시스템의 기존 채널예측방식을 적용한 경우와 이를 수정하여 선택형 파일럿 중첩 채널예측기법을 적용한 경우의 성능을 비교한다.

시뮬레이션에서 기존의 IEEE802.11p에서의 채널예측 파일럿으로는 긴 훈련심볼에 해당하는 128샘플을 사용하였고, 제안한 시스템 모델에서는 OFDM 한 심볼에 해당하는 64샘플에 대응되는 왈쉬 시퀀스를 파일럿 중첩 채널예측으로 사용되는 파일럿 시퀀스 집합으로 사용하였다. 프레임 길이는 200바이트 길이로 설정하였다.

시뮬레이션에 사용한 공통 파라미터를 표 2에 나타내었다. OFDM기반의 DSRC시스템의 시스템 대역폭은 10MHz이고, 부반송파간의 간격은 표준에 정의된 것과 같이 156.25KHz로 설정하였다.

이동성을 고려하기 위하여 이동체의 속도를 30Km/h와 100Km/h인 경우를 가정하였으며, 수정된 HIPERLAN/2 채널모델의 최대 지연과 rms지연은 각각 1100ns와 242ns이다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table. 2 Simulation parameters

시뮬레이션 파라미터	설정치 및 모드
데이터 변조방식	QPSK
전송속도	6Mbps
채널 부호	컨벌루션부호(구속장 7)
중심주파수	5.9GHz
이동체 속도	30Km/h, 100Km/h
Rms 지연확산	242ns
프레임당 데이터 길이	200바이트
시스템 대역폭	10MHz
파일럿 시퀀스	왈쉬시퀀스

그림 6은 파일럿 심볼 전력대 데이터 심볼 전력비(ρ^2)에 따른 제안하는 시스템의 BER 성능 그래프를 보여준다. 파일럿 집합으로 사용한 파일럿 시퀀스의 개수는 4이고, 프레임 길이는 200바이트인 경우를 고려하였다. 그림에서 ρ^2 가 증가함에 따라 BER성능이 개선되다가 다시 성능이 열화되는 현상을 확인할 수 있는데, 이는 파일럿 시퀀스에 낮은 전력이 공급되는 경우 채널 예측 정확도가 저하되는 반면, 높은 전력이 공급되면 데이터 복조 능력이 저하되기 때문이다. 이러한 그래프로부터 주어지 조건 하에서 ρ^2 에 대한 최적 값이 존재함을 알 수 있다. 그림 6으로부터 프레임 길이가 200바이트이고 SNR이 20dB인 조건에서 이동체 속도가 30Km/h인 경우와 100Km/h인 경우의 최적 ρ^2 값은 각각 약 0.6과 0.7임을 알 수 있다. 이렇게 이동체 속도가 높을 때 최적의 ρ^2 값이 다소 증가한 것은, 이동체 속도가 높은 경우 채널예측 능력이 시스템 성능에 미치는 영향이 상대적으로 증대되게 되는데, 이 경우 파일럿 시퀀스에 보다 높은 전력을 할당하여 데이터 복조능력을 다소 희생하고 채널예측정확도를 높이는 것이 전체적인 성능을 높일 수 있게 되기 때문인 것으로 판단된다.

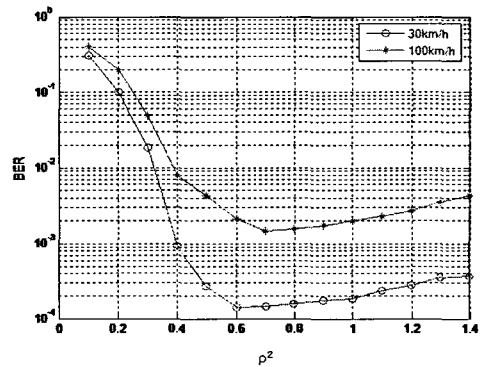


그림 6. ρ^2 에 따른 제안 시스템의 BER 성능 (프레임 길이=200바이트, SNR=20dB)
Fig. 6 BER performance of proposed system according to ρ^2 (Frame length=200bytes, SNR=20dB)

그림 7은 기존의 시스템과 제안하는 시스템 모델에 대해 SNR에 따른 BER성능을 비교한 것이다. 그림 6의 경우와 같이 파일럿 집합으로 사용한 파일럿 시퀀스의 개수는 4이고, 프레임 길이는 200바이트인 경우를 고려하였으며, ρ^2 의 최적값을 적용하여 성능을 구하였다. 제안하는 시스

템 모델이 기존의 시스템 보다 BER 성능이 우수함을 확인할 수 있다. 본문에서 언급한 바와 같이 제안하는 시스템은 기존시스템에 비해 파일럿 중첩을 통해 데이터를 동시 전송할 수 있어 전송률이 다소 높아진다는 장점을 가진다.

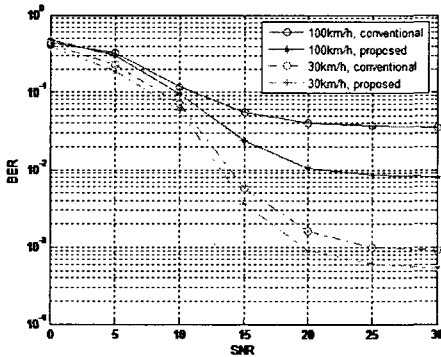


그림 7. 기존 시스템과 제안 시스템 모델의 BER 성능 비교 (파일럿 시퀀스 개수 = 4)

Fig. 7 BER performance comparison between conventional system and proposed system(The number of pilot sequences = 4)

성능 그래프로부터 이동체의 속도가 낮은 경우와 이동체의 속도가 높은 경우의 BER 그래프를 비교하면, 이동체 속도가 높을 때에 기존 시스템과 비교한 제안 시스템의 BER 성능 개선도가 더 높아진다는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 차세대 5.9GHz대역의 DSRC 통신 방식으로 표준작업이 진행중인 IEEE802.11p 물리계층에 따른 시스템 모델에서 기존의 채널예측방식을 적용한 경우의 시뮬레이션을 통해서 BER 성능을 구해내고, 기존의 채널예측기법을 수정하여, 데이터 심볼과의 상관도가 낮은 파일럿 시퀀스를 선택하여 데이터에 중첩시켜 동시 전송하는 채널 예측기법을 적용하는 시스템 모델을 제안하여 그 성능을 비교하였다.

제안한 시스템은 기존의 프레임 포맷에서 프리앰블 부분만을 변경하여 적용이 가능하며, 성능 분석 결과 시스템 BER을 최소화 시킬 수 있는 파일럿 심볼대 데이터 심볼 전력 비(ρ^2)의 최적값이 존재함을 확인하였고, 페이딩 채널을 고려한 이동 환경에서 ρ^2 의 최적값을 적용한 제안

시스템의 성능이 기존의 일반적인 채널 예측방식을 적용한 IEEE802.11p 기반 DSRC 시스템과 비교하여 성능이 우수함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 오종택, "미국의 5.9GHz 차세대 DSRC(IEEE802. 11p TGp) 기술연구," OSIA Standard & Technology Review, 제21권, 제2호, pp. 10-26, 2004. 12.
- [2] IEEE802.11p Draft 1.0; Amendment 3 : *Wireless Access in Vehicular Environment(WAVE)*, Feb. 2006.
- [3] ISO 8802-11, *Wireless Lan Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications*, Jan. 1999.
- [4] ETSI BRAN, *Broadband Radio Access Networks(BRAN) ; High Performance Radio Local Area Network(HIPER-LAN) Type2 ; requirements and architecture for wireless broadband access and interconnection*, TR 101 031 v2.2.1, Jan. 1990
- [5] J. Heiskala, J. Terry, Ph. D., *OFDM Wireless LANs : A Theoretical and Practical Guide*, SAMS, 2002.
- [6] J. Medbo, "Radio wave propagation characteristics at 5GHz with modeling suggestions for HIPERLAN/2," *ETSI BRAN 3ERI074A*, Jan. 1998.

저자소개

곽 제 민(Jae-Min Kwak)



1998년 2월 한국항공대학교 통신정보공학과 (공학사)

1999년 8월 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학석사)

2002년 8월 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사)

2002년 7월~2003년 7월 한국전자통신연구원 네트워크연구소 (Post-doc.)

2003년 7월~현재 전자부품연구원 SoC연구센터 (선임연구원)

※관심분야 : OFDM, UWB, 유무선 통신 신호처리, 임베디드 시스템