

주파수 선택적 페이딩 채널에서 고속 무선 전송을 위한 채널추정 방식

Channel estimation method for the high-speed wireless transmission
under the frequency selective fading channels

이 주 형, 김 주 경, 김 재 명

the Graduate School of Information Technology & Telecommunications
Inha University

Key Words : OFDM, UWB, Channel Estimation, DDCE(Decision Directed Channel Estimation)

목 차

I. 서론	IV. 시뮬레이션 모델
II. 채널추정방법	1. 채널 구성
1. 특수훈련 심볼(preamble)을 이용한 채널 추정	2. 시스템 구성
2. 결정지향 채널 추정	V. 시뮬레이션 및 성능 분석
III. 제안된 주파수 채널추정 기법	VI. 결론

I. 서론

텔레매틱스(Telematics)는 통신과 정보기술의 합성어로 무선망을 통한 음성 및 데이터통신을 이용하여 차량에 정보를 주고 받는 새로운 부가서비스를 제공하는 기술이다. 텔레매틱스 서비스를 제공하기 위해 DSRC(Dedicated Short Range Communication), 무선랜, UWB 등 여러 가지 무선통신 기술이 제안되고 있는데 이중 UWB 시스템은 홈네트워킹 내의 단말 장치와 차량내 텔레매틱스 단말기 장치간 연계 서비스와 차량내 고속 데이터 전송의 필요성이 증대함에 따른 요구에 부합되어 많은 연구가 진행되고 있다. UWB 시스템은 FCC에서 규정한 3.1~10.6GHz 대역의 스펙트럼 마스크에서 채널 주파수 대역폭이 500MHz 이상으로 정의하며 고속 데이터 전송률을 가지는 Wireless PAN을 공급하기 적합하다. 이러한 UWB 시스템은 낮은 파워를 사용하기 때문에 자동차 및 차내 다른 전자제품에 영향을 미치지 않고, 최대 전송률이 1Gbps정도까지를 제공할 수 있어 차내 무선망 적용기술로 여러 가지 장점을 가지고 있다. [1]

OFDM(Orthogonal Frequency Devison Multiplexing)방식은 무선랜 시스템과 UWB 시스템에 모두 사용되는 무선접속 기술로 이동수신 환경에서 성능저하를 일으키는 다중경로 간섭에 강한 장점을 가지고 있다. 또한 이동수신 환경에서 이러

한 다중경로 간섭과 이동성에 따른 도플러 효과를 줄이고 성능 향상을 위해서 효과적인 채널 추정이 필요하다. 하나 이상의 OFDM 심볼로 구성된 특수 훈련 심볼(preamble)을 사용하는 채널 추정은 비교적 간단하게 채널을 추정할 수 있다. 보다 좋은 성능을 위해 전송된 데이터 심볼을 파일럿으로 사용하는 결정지향 채널 추정기법(Decision Directed Channel Estimation)은 데이터를 이용하여 새로운 추정값을 결정함으로써 적은 수의 프리앰블의 수가 요구되고 성능은 향상된다. 또한 이러한 기법은 데이터 추정값을 제한시켜 비터비 복호기 이후 추정하여 보다 나은 성능 향상을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 주파수 선택적인 레일리 채널 환경에서 OFDM 기반 시스템의 결정지향 채널 추정 기법에 대한 성능을 분석하고 간단한 주파수 측면의 추정기법을 추가하여 성능 향상을 살펴본다. [2]

II. 채널 추정 방법

1. 특수훈련 심볼(preamble)을 이용한 채널 추정

OFDM에서 패킷 시스템은 프리앰블 구조에 파일럿 심볼이

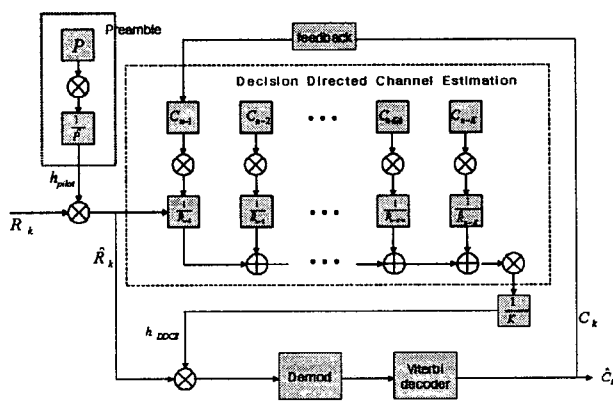
정의되어 있는데 이 심볼들은 데이터 심볼보다 먼저 전송된다. 이같이 수신단에 전송된 훈련 심볼들은 FFT를 통과하고, 통과된 심볼들의 평균값으로 채널 추정 사용된다. 이와 같이 패킷의 시작에서 파일럿 심볼을 사용하기 위해서는 패킷의 나머지 데이터가 전송되는 동안에 채널의 변화가 무시할 수 있을 정도로 작다는 가정이 성립되어야 한다.

훈련 시간을 단축시키기 위해서는 적은 수의 훈련 심볼을 사용해야하며, 반대로 우수한 채널 추정 성능을 이루기 위해서는 다수의 훈련 심볼을 사용하거나 중간에 주기적으로 훈련 심볼을 사용해야 하는데 이는 데이터 전송 효율이 감소하기 때문에 훈련 심볼의 수를 결정할 때에는 이들 둘 사이의 관계를 적절히 고려해야 한다.

2. 결정지향 채널 추정

결정지향 채널추정(DDCE)기법은 파일럿 대신에 데이터를 파일럿처럼 사용하여 추정값을 찾아서 주기적으로 모든 부반송파에 대한 채널을 추정하여 변하는 채널에 적용시키는 방법이다. 이 방법도 역시 채널이 상대적으로 천천히 변한다는 가정하에 인접 심볼 사이에 상관성이 크다는 것을 이용한 것으로 초기의 심볼만으로 특정 OFDM심볼에 대한 채널을 추정할 수 있다. DDCE를 적용하기 위해서는 먼저 채널의 추정값이 필요하여 적어도 하나의 OFDM 훈련 심볼이 전송되어야 한다. 이것을 사용하여 수신기는 다음 심볼에 있는 모든 부반송파에 대한 채널 추정을 하게 되며 여기서 추정된 채널은 또 다시 다음 OFDM 심볼의 데이터를 검출하는데 사용된다.

결정지향 채널 추정 기법은 패킷의 심볼들을 몇 개의 심볼마다 또는 전체 심볼을 궤환하여 그 값을 추정해 나갈 수 있다. 이는 채널 특성에 따라 각각의 방법에 대한 성능이 약간 차이 생기며 각 심볼이나 몇 개 심볼 단위의 그룹에 추정값에 알맞은 가중치(weighting factor)를 줄 수도 있다. [3]



<그림 1> 결정지향 채널추정 알고리즘

그림 1은 비터비 디코더를 이용한 결정지향 채널추정 원리를 나타낸 그림이다. 여기서 n은 심볼 인덱스, k는 부반송파

인덱스를 나타낸다.

$$R_k = hX_k + n_k \quad (1)$$

R_k 는 수신된 심볼 신호, h 는 채널 응답, X_k 는 전송된 심볼 신호, 그리고 n_k 는 채널상의 잡음 신호이다. 먼저 R_k 는 파일럿에 의한 추정 벡터(transfer factor) h_{pilot} 에 의해 채널 추정을 한다.

$$h_{pilot} = \frac{P}{\hat{P}} \quad (2)$$

$$\hat{R}_k = R_k \cdot h_{pilot} \quad (3)$$

여기서 p 는 송신된 파일럿 값과 \hat{p} 는 수신된 파일럿 값을 나타낸다. 이렇게 파일럿에 의해 추정이 이루어진 심볼 신호 \hat{R}_k 는 복조와 비터비 디코딩을 통해 수신된 데이터(C_k)를 다시 궤환시켜 궤환전 수신된 심볼 신호(\hat{R}_k)의 역수를 곱하고 데이터 심볼수로 나누어 평균을 구함으로써 추정벡터 h_{DDCE} 를 구할 수 있다.

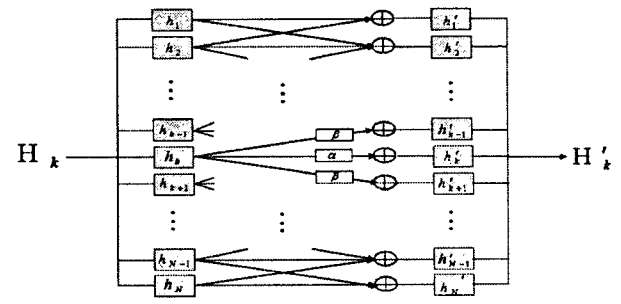
$$h_{DDCE} = \frac{C_k}{\hat{R}_k} \cdot \frac{1}{K} \quad (4)$$

추정 벡터 h_{DDCE} 를 이용하여 프리앰블에 의해 추정된 수신 데이터를 한번 더 추정을 하게 되고 이를 통해 성능을 향상시켜 준다.

$$\hat{C}_k = \hat{R}_k \cdot h_{DDCE} = R_k \cdot h_{pilot} \cdot h_{DDCE} = R_k \cdot \hat{h} \quad (5)$$

여기서 중요한 점은 데이터에 의한 추정 벡터(h_{DDCE})를 얻기 위한 궤환은 파일럿에 의해 추정된 데이터 심볼(\hat{R}_k)이 비터비 디코더를 통과한 다음에 이루어진다는 점이다. 이러한 기법은 비터비 디코더를 통과하지 않은 DDCE방식보다 데이터의 신뢰도를 높여 주어 더욱 정확한 데이터에 의한 추정벡터(h_{DDCE})를 기반으로 새로운 채널 추정벡터(\hat{h})의 정확도를 높일 수 있다. [4]

III. 제안된 주파수 채널추정 기법



<그림 2> 추가적 주파수 측면 채널추정 기법 알고리즘

그림 2는 결정지향 채널 추정기법에서의 구현의 복잡도를 감소하기 위해 제안한 주파수 채널 추정(FE : Frequency Estimation) 방법을 보여준다. 여기서 k는 부반송파 인덱스,

N은 총 부반송파 수이며, α 와 β 는 추정시 각 부반송의 가중치(weighting factor)를 나타낸다.

$$\hat{h}_k = \beta h_{k-1} + \alpha h_k + \beta h_{k+1}$$

결정지향 채널 기법에 의해 추정된 추정 벡터 h_k 는 h_{k-1} 과 h_{k+1} 의 영향을 고려하여 새로운 추정 벡터 \hat{h}_k 를 구할 수 있으며 β 는 $(1-\alpha)/2$ 로 α 값에 의해 결정되는 값으로 두 가중치를 적당히 고려하여 성능을 향상시킬 수 있다. 주파수 비선택적 채널에서 부반송파간의 채널은 변화가 크지 않으므로 주파수 측면에서 채널 추정을 추가적으로 적용하면 큰 성능을 향상시킬 수 있다. 하지만 주파수 선택적인 채널에서는 부반송파간에 변화가 크므로 이 방법을 적용하면 추가적인 이득이 작다.

IV. 시뮬레이션 모델

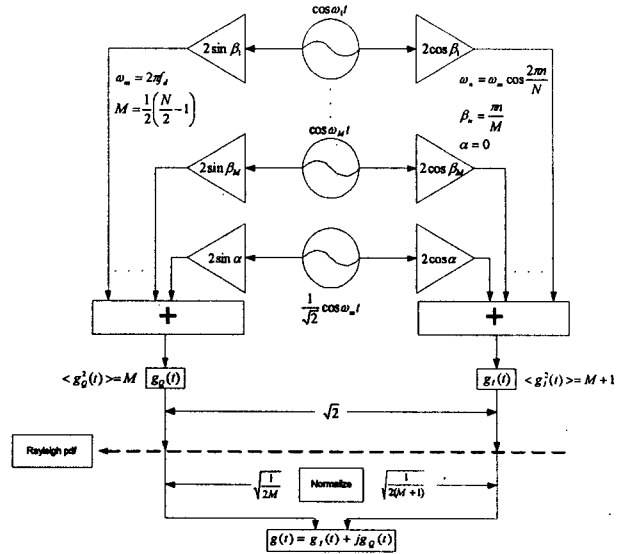
1. 채널 구성

이동통신 채널은 이동국이 자유공간 내에서 움직이고 있을 때 수신되는 반송파 주파수의 변화에 의해 발생하는 도플러 주파수를 가진 Rayleigh분포의 포락선 변동으로 모델링 된다. 또한 이동 중에 수신되는 신호는 반사, 회절, 산란되면서 다중 경로를 통해 수신되고 이러한 신호들의 합과 차에 의해 신호의 세기가 급격히 변화하는 현상을 페이딩(fading)이라고 한다. 이동국에 도달하는 다경로파는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$r(t) = \sum_{i=1}^N r_i \cos [2\pi(f_c - f_d)t + \phi_i]$$

여기서 $f_i = \frac{v}{c} f_c \cos \theta_i$ 이고 r_i 는 i 번째 다경로파의 진폭, f_c 는 i 번째 도플러 주파수, v 는 이동국 속도, c 는 광속이다. θ_i 는 이동국 이동방향과 i 번째 입사파 사이각, ϕ_i 는 0과 2π 사이에서 Uniform분포를 갖는 i 번째 위상을 나타낸다.

페이딩 환경하에서 작용하는 통계적 변수들이 불확실하고 단지 확률적이기 때문에 실제로 정확히 모의 실험한다는 것은 불가능한데 본 연구에서는 모의 실험에서 자주 사용되고 있는 Rayleigh 환경을 Jakes' fading model을 사용한다.



<그림 3> Jakes' 페이딩 모델링

여기에는 M개의 oscillators가 있고, 이들의 주파수는 아래와 같다.

$$f_n = f_m \cos(2\pi n / N), n = 1, 2, \dots, M \quad (M = \frac{1}{2}(N-1))$$

이동 수신에 대한 채널 정보는 ITU-R M.1225에 나와있는 이동 수신 Channel profile을 이용할 것이다.

<표 1> 이동수신환경에서 다중경로에 따른 레일리 파라미터

Path	Channel A		Channel B		Doppler spectrum
	Relative delay(ns)	Average power(dB)	Relative delay(ns)	Average power(dB)	
1	0	0	0	-2.5	Classic
2	310	-1.0	300	0	Classic
3	710	-9.0	8900	-12.8	Classic
4	1090	-10.0	12900	-10.0	Classic
5	1730	-15.0	17100	-25.2	Classic
6	2510	-20.0	20000	-16.0	Classic

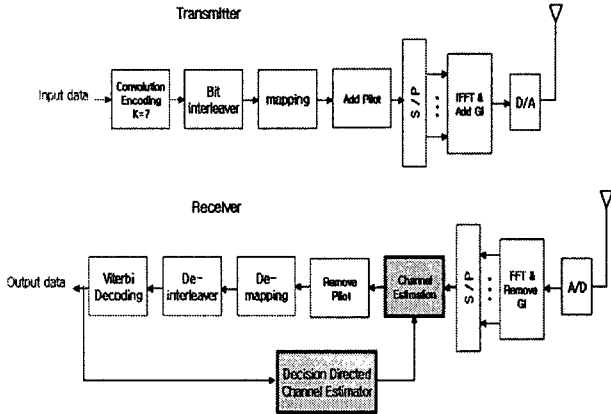
이러한 다중경로 모델은 Rayleigh페이딩과 AWGN의 합으로 구성 될 수 있다. [5]

2. 시스템 구성

시뮬레이션을 하기 위한 OFDM 시스템은 컨볼루션 인코더에 의해 채널 코딩을 한 후 블록 인터리빙(Interleaving)을 거쳐 QPSK로 변조된다. 변조 후에 병렬 구조 데이터가 FFT를 통과하고 다중경로 지연에 의한 ISI(Inter Symbol Interference)를 막기 위해 보호 간격(Guard Interval)을 삽입하여 수신 단으로 보낸다. 채널을 통과한 신호는 수신 단에서 송신단의 역순으로 신호를 처리한다. 여기서 FFT를 통과한

후에 채널 추정기를 삽입하여 채널을 추정하고 추정된 결과들을 이용하여 성능을 분석한다. 또한 결정 지향 채널 추정 기법을 사용하기 위해 비터비 디코더 이후에 추정기를 추가하여 데이터 값을 제외한 시켜 새로운 채널 추정 벡터를 찾을 수 있다. [6]

다음 그림 4는 채널 추정기를 포함한 OFDM에서의 시스템 시뮬레이션 모델을 나타내고 있으며, 표 2은 성능분석 시뮬레이션을 위해 사용한 주요 파라미터를 보여주고 있다.



<그림 4> 채널 추정기를 포함한 OFDM 시뮬레이션 모델

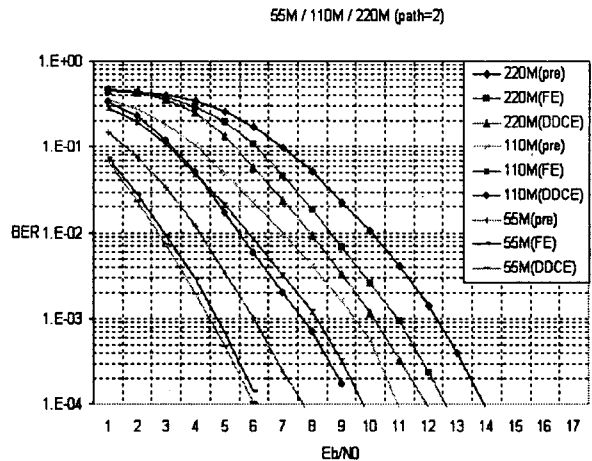
<표 3> 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Bandwidth	528MHz
FFT size	128
Cyclic prefix	32
Number of data subcarriers	100
Number of pilot carriers	12
Number of guard carriers	10
FFT period	242.42ns
Symbol interval	312.5ns
Modulation	QPSK
Channel Model	Rayleigh channel
Data rate	55/110/220 Mbps
Spread Gain	4 / 2 / 1
channel code	convolution (R=1/3,K=7)

험을 통하여 성능을 살펴본다.

그림 5과 그림 6은 55Mbps, 110Mbps, 220Mbps의 데이터 전송률을 갖는 레일리 채널에서 프리앰블을 이용한 채널추정, 결정지향 채널 추정(DDCE), 주파수 채널 추정(FE)에 따른 성능을 나타낸다. 이 결과를 보면 비터비 디코더를 통과하여 데이터를 파일럿으로 이용한 결정지향 채널 추정은 가장 좋은 성능을 보이고 프리앰블만을 사용한 채널 추정은 가장 열악한 것을 볼 수 있다. 그림 5은 2개의 경로를 가지는 레일리 채널이고, 그림 6은 경로가 더 많은 6개의 경로를 가진 레일리 채널로 경로 수에 따른 성능을 비교한다.

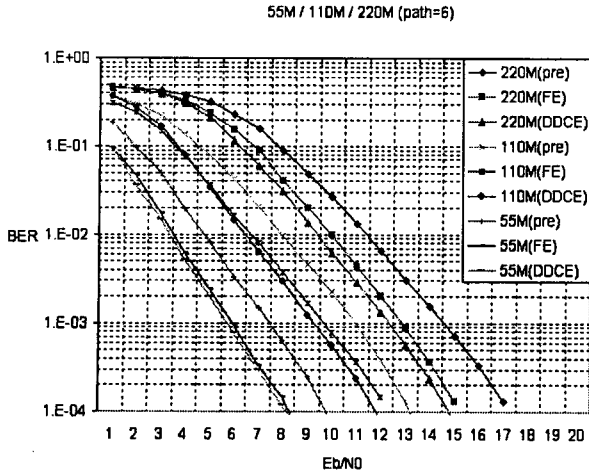
데이터 전송률에 따라 각각의 성능은 결정지향 채널추정 방식이 가장 우수 하고 그 다음 주파수 채널 추정 방법이 약간 적은 이득으로 우수한 것을 알 수 있다. 두 개의 경로를 가진 레일리 채널에서 결정지향 채널추정 방법과 주파수 채널 추정 방법을 비교하면 BER 10^{-3} 기준으로 55Mbps에서 0.3dB, 110Mbps에서 0.5dB, 220Mbps에서 0.8dB정도로 결정 지향 채널 추정 방식이 주파수 채널 추정방법보다 이득이 있다. 마찬가지로 6개 경로를 가진 레일리 채널에서 결정지향 채널 추정기법이 BER 10^{-3} 기준으로 55Mbps에서 0.1dB, 110Mbps에서 0.3dB, 220Mbps에서 0.5dB정도의 이득을 갖는다. 따라서 주파수 채널 추정은 결정지향 채널추정과 비교했을 때 데이터 전송률이 낮을수록 얻는 이득의 차가 줄어든다. 또한 경로 수에 따라 비교할 경우 같은 데이터 전송률에서 경로 수가 많을수록 이득 차가 적다.



<그림 5> 데이터 전송률에 따른 성능(Path=2)

V. 시뮬레이션 및 성능 분석

표 1의 Channel A 정보와 시스템과의 관계를 살펴보면 6개의 경로가 모두 있을 때 $B_c(\text{coherent bandwidth})=520\text{KHz}$ 이고 이는 신호의 대역폭보다 작아서 주파수 선택적 페이딩을 가진다고 할 수 있다. 하지만 실제로 LOS(Line of Sight)가 존재하는 채널에서는 주파수 비선택적 페이딩이 존재하므로 이를 고려하여 Monte Carlo기법을 이용한 컴퓨터 모의 실험



<그림 6> 데이터 전송률에 따른 성능(Path=6)

VI. 결론

OFDM시스템의 장점은 직교성을 갖는 여러 개의 부반송파를 이용하여 주파수 선택적 페이딩에 강건함을 갖는 것이라 할 수 있는데 본 연구는 주파수 선택적 페이딩일 때 주파수 간의 상관관계를 이용하여 부반송파간의 채널추정을 할 수 있다는 것이다. 시간적인 측면에서 비터비 복호기를 이용한 결정지향 채널추정 방법이 많은 이득을 얻을 수 있지만 이는 비터비 디코더의 복잡도를 감수해야 한다는 단점이 있다. 55Mbps 정도의 전송률 일 경우 결정지향 채널 추정과 주파수를 이용한 채널 추정(FE)의 이득이 거의 동일하다, 따라서 복잡도를 감안할 때 주파수 채널추정(FE)은 결정지향 채널 추정보다 좋은 성능을 발휘할 수 있다. 하지만 전송률이 높아짐에 따라 비터비를 이용한 채널 추정기법으로 얻는 이득이 커지기 때문에 복잡도를 낮추며 만족할 만한 성능을 얻을 수 있는 주파수 채널추정(FE) 기법의 연구가 계속 진행되어야 한다. 선택적 페이딩과 시변 페이딩 채널간의 상호관계를 잘 고려하여 시스템에 적합한 채널 추정을 알아내는 것이 중요하므로 주파수 채널 추정(FE)에서 각 부반송파가 가지는 가중치(weight vector) 및 추후 개선된 추정 기법 사용하여 더 좋은 성능을 발휘하는 채널 추정 기법 연구가 필요하다.

본 연구는 대학 IT연구센터(이하 UWB-RC) 육성. 지원사업의 연구 결과로 수행되었음.

1. Anuj Batra et al., Texas Instrument et al., Multi-band OFDM physical Layer Proposal for IEEE for IEEE 802.15 Task Group3a, IEEE P802.15-04/0137r00137r00137r0, March, 2004.
2. Bernard Sklar: "Digital Communications", 'Ch.3 Baseband Demodulation/Detection', Reprinted with corrections September, 2002, pp.149-162.
3. Tideya Kella: "Decision-Directed Channel Estimation for Supporting Higher Terminal Velocities in OFDM Based WLANs", Germany, Dec., 2003.
4. Pal K. Frenger and N. Arne B. Svensson: "Decision-Directed Coherent Detection in Multicarrier Systems on Rayleigh Fading Channels", March, 1999.
5. Theodore S.Rappaport "Wireless Communications, principles and practice second edition", 'Ch.5 Mobile Radio Propagation', 2002, pp.177-254.
6. Richard Van Nee Ranjee Prasad "OFDM for Wireless Multimedia Communications", 'Ch.2 OFDM Basics, Ch.5 Coherent and Differential Detection' 2000, pp.33-51, pp.95-117