

시변채널 모델에서 다중 탭 갱신 알고리즘에 관한 연구

(A Study on the Multi-Tap Update Algorithm in Time Variant Channel Model)

이승대(Seung-Dae Lee)¹⁾

요 약

고속의 데이터 전송에 대한 채널의 왜곡을 보상하기 위해 다중 경로 다이버시티 수신을 수행하였다. 다이버시티 가지에 보상 알고리즘을 결합한 수신 구조를 갖는 DS/BPSK 시스템을 구성하고 시스템의 성능을 SNR에 따른 평균 비트 에러율 관점에서 평가하였다. 상호부호간 간섭을 극복하기 위해 L 개의 다이버시티 가지에 비선형 탭 지연선 구조를 사용하고 보상 알고리즘에 따라 탭 계수가 시변채널에 적응하도록 하였다. 그 결과 일반적인 보상 알고리즘에 비해 제안한 알고리즘의 평균 비트 에러율이 10^{-2} 정도 개선되었다.

Abstract

Multipath diversity reception is applied to the compensation of the distortion of channel, which occurs in transmission of data at rapid speed. DS/BPSK systems are composed of the equipment with reception structure combined with a compensation algorithm to diversity branch. The efficiency of the system is evaluated from the point of view of average bit error rate according to SNR. In order to remove intersymbol interference, this algorithm is applied to time-invariant channel at every diversity branch with the number of L . As a result, the average bit error rate is saturated by 10^{-2} at the conventional compensation algorithm.

논문접수 : 2006. 1. 11

심사완료 : 2006. 1. 29

1) 정희원 : 남서울대학교 전자정보통신공학부

본 연구는 2005학년도 남서울대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

1. 서론

이동통신 채널 환경에서는 송신 심볼간 간섭, 서로 다른 사용자간의 간섭, 다중 경로의 신호 수신 및 시간에 따라 변하는 잡음 등의 왜곡이 발생됨에 따라 신뢰성 있는 통신을 위해서는 이러한 왜곡을 제거할 수 있는 신호처리 기술이 필수적이다.

이동통신 채널환경은 다중 경로 페이딩 채널(multipath fading channel)로 모델링 할 수 있으며 이러한 페이딩 채널에서 다중접속(multiple access) 통신을 위해 직접 확산(direct sequence)방식과 같은 스펙트럼 확산(spread spectrum) 통신 방식이 이용되고 있다. 직접 확산 방식은 스펙트럼 확산 통신 방식의 여러 장점과 더불어 직접 확산 방식 자체가 가지고 있는 주파수 다이버시티(frequency diversity)와 같이 비교적 쉽게 실현할 수 있는 기술을 갖추고 있어 많은 관심을 갖게 되었다 [1,2,3].

이에 본 논문에서는 시변채널에서 고속의 데이터 전송시 발생할 수 있는 심볼간간섭을 극복하기 위해 L 개의 다이버시티 가지에 비선형 탭 지연선 구조를 사용하고 탭 지연선의 탭 계수가 시변채널에 적용할 수 있도록 보상 알고리즘을 제안하고 시변 이동통신 채널에 적용시킨 후 오율 특성을 고찰하여 제안한 알고리즘의 보상능력을 확인하고자 하였다.

2. 시변 이동통신 채널 모델링

무선전송의 특성은 다중경로 전송(multipath propagation)과 전송 손실(transmission loss) 현상으로 나누어진다. 다중 경로 성분은 반사와 굴절 및 산란 현상 때문에 발생하게 되며 전파는 송신기에서 수신기까지 많은 경로를 통해 도달하게 된다. 이로 인해 각각의 경로 길이에 연관되는 시간 지연이 발생하게 되며 이 시간 지연은 경로 길이의 함수가 된다. 따라

서 진폭에 영향을 주는 지연 신호는 시변 특성을 갖는 선형 필터의 형태로 나타낼 수 있다.

2-1 광대역 탭 지연선 모델

광대역 탭 지연선(wide-band tapped delay line) 구조는 이동 무선 환경에서 다중 경로를 표현하는데 사용되며 이 구조는 광의의 정상인복소 가우시안 무상관 산란채널(complex Gaussian wide-sense stationary uncorrelated scattering channel)[4] 이라고 가정한다.

본 논문에서 적용하고자 하는 시변 채널은 기존의 일반적인 채널모델을 세분화하여 탭 지연 간격과 도플러 스펙트럼, 탭 지연간격에 따른 신호의 전력 감쇄량이 동작하고 있는 시변 채널의 환경에 따라 변화되도록 하였다.

미국의 JTC에서는 RF 채널 특성 및 시스템 성능 평가를 위해 개인 휴대통신에 대한 시변 채널을 1994년 표준안으로 확정, 공고하였다 [5]. 이 표준안에서는 크게 실내와 실외, 보행자와 차량 및 거주지, 저층의 도심 또는 시외곽, 고층의 도심 등으로 물리적 채널을 정의하고 이에 대한 이동체의 속도 및 최대 도플러 천이, 지연 확산 파라미터등을 제시하였다.

이에 본 논문에서는 이 채널 파라미터를 바탕으로 채널 시뮬레이터를 설계하고 대표적인 채널환경인 저층의 도심 및 시외곽 환경에서 차량에 대한 시변 채널을 시스템 성능 평가에 도입하였다.

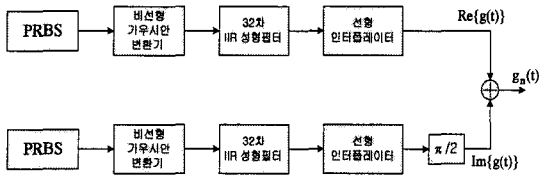
2-2 채널 모델링

주어진 환경내에서 지연 확산의 수많은 변화를 종합하기 위해서 3 가지 다중 경로 채널을 각각의 환경에 대해 정의한다. 채널 A는 적은 지연확산이 자주 발생하는 경우이고 채널 B는 중간 정도의 지연확산이 자주 발생하는 경우이며 채널 C는 많은 지연확산이 아주 가끔 발생하는 경우로 나타낸다. [표 1]에 채널 A, B 와 C에 대해 9 개의 환경에 대한 RMS 다중 경로 지연확산을 나타내었다.

[표 1] 지연확산 파라미터

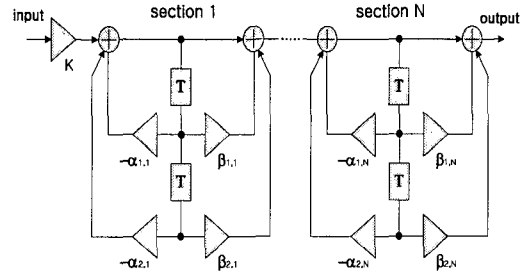
환경	S_A (ns)	S_B (ns)	S_C (ns)
실내 거주지	20	70	150
실내 사무실	35	100	460
실내 상권지역	55	150	500
실외 고층의 도심지 (보행자)	100	750	1800
실외 저층의 도심 또는 시외곽 (보행자)	100	750	1500
실외 거주지(보행자)	70	460	850
실외 고층의 도심지 (차량)	500	3250	8000
실외 저층의 도심 또는 시외곽 (차량)	400	4000	12000
실외 거주지(차량)	350	2260	6450

[그림 1]의 블록도는 n 번째 탭 가중치 $g_n(t)$ 를 생성하는 과정을 설명하고 있다. $g_n(t)$ 의 허수부와 실수부는 동일한 방법으로 수행된다. 의사 잡음 이진 부호열(PRBS)에 의해 생성된 균일 랜덤 수열은 균일 분포로부터 가우시안 분포로 표본값을 변화시키기 위해 비선형 가우시안 변환기에 입력된다. 이러한 백색 가우시안 잡음열은 원하는 도플러 스펙트럼을 생성하기 위해 최대 도플러 주파수의 4배 되는 클럭에 의해 동작하도록 한 32차 IIR 성형 필터(shaping filter)에 입력되며 최종값을 64배로 만들기 위해 16을 곱해 갱신율을 증가시키는 다단 선형 인터폴레이터(interpolator)를 통과시킨다.

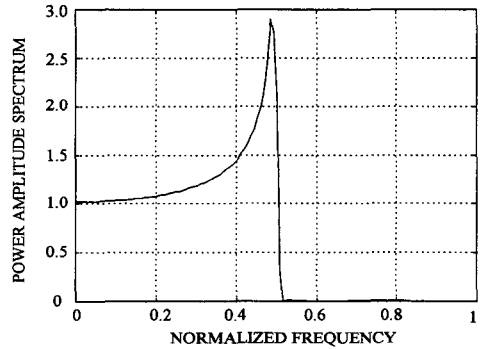


[그림 1] 탭 가중치 생성과정의 블록도

[그림 2]는 도플러 스펙트럼을 생성하기 위해 본 논문에서 구현한 직접형 타입 II (direct form type II) IIR 필터의 블록도이다[6]. 또한 [그림 3]은 구현한 IIR 필터의 실외 모델에서 사용되는 classic 도플러 스펙트럼을 나타내고 있다.

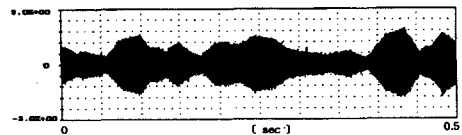


[그림 2] 직접형 타입 II IIR 필터

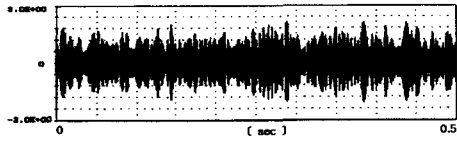


[그림 3] 설계한 IIR 필터의 진폭 스펙트럼

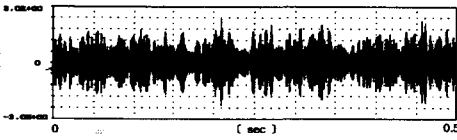
구현된 시변 페이딩 채널 시뮬레이터를 통과한 신호의 파형은 [그림 4]에 나타내었다. 도플러 천이의 영향에 따라 진폭과 위상이 급속하게 변하고 있음을 관찰할 수 있다.



(a) $f_m = \pm 9.6\text{Hz}$



(b) $f_m = \pm 115\text{Hz}$



(c) $f_m = \pm 171\text{Hz}$

[그림 4] 페이딩 채널 통과 신호파형

3. 보상 알고리즘

3-1 비선형 탭 지연선 구조

비선형 탭 지연선(nonlinear tapped delay line) 구조는 심볼 간격 T 와 동일한 탭 간격을 갖는 feedforward 부분과 feedback 부분의 2 가지 필터로 구성되어 있다. Feedforward 부분의 입력은 수신된 신호열 $\{u_k(n)\}$ 이며 이는 선형 탭 지연선 구조와 동일하다. 반면에 feedback 부분은 이전에 검파된 심볼을 판정한 열을 입력으로 한다. Feedback 부분은 이전에 검파된 심볼에 의해 발생된 예측값에서 나타나는 상호부호간 간섭(ISI) 의 부분을 제거하는데 사용된다.

비선형 탭 지연선 구조의 출력을 나타내면 식 (1) 에 보인 바와 같이 feedforward 부분의 출력과 feedback 부분 출력의 합으로 표현된다.

$$\hat{Y}_k = \sum_{j=-K_1}^0 w_j u_{k-j} + \sum_{j=1}^{K_2} w_j \tilde{Y}_{k-j} \quad (1)$$

여기서 \hat{Y}_k 는 k 번째 정보심볼의 예측값이

고 $\{w_j\}$ 는 필터의 탭 계수이며 $\{\tilde{Y}_{k-1}, \tilde{Y}_{k-2}, \dots, \tilde{Y}_{k-K_2}\}$ 는 이전에 검파된 정보 심볼이다. 비선형 탭 지연선 구조는 feedforward 부분에 $K_1 + 1$ 개의 탭을 갖고 feedback 부분에 K_2 개의 탭을 갖는다고 가정하였다.

적용방식에서 탭 지연선의 탭 이득계수 $\{w_j\}$ 는 탭 지연선 구조가 채널 응답에서 시간에 따라 변화할 수 있도록 순환적으로 조절된다. 이러한 목적으로 에리신호는 검파된 심볼 \tilde{Y}_k 와 예측값 \hat{Y}_k 사이의 차, 즉 $e_k = \tilde{Y}_k - \hat{Y}_k$ 로 만들어진다. 이 에리신호는 Δ 에 의해 크기가 조절되고 이 결과는 다음과 같은 steepest descent 알고리즘에 따라 계수를 조절하는데 사용된다.

$$w_{k+1} = w_k + \Delta e_k u_k^* \quad (2)$$

여기서 w_k 는 k 번째 신호순간에 탭 이득계수이고 벡터 u_k 는 $\{u_{k+K_1}, \dots, u_k, \tilde{Y}_{k-1}, \dots, \tilde{Y}_{k-K_2}\}$ 를 갖는다.

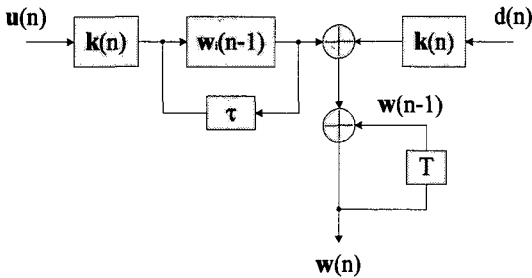
3-2 보상 알고리즘

기존의 탭 갱신 알고리즘 방식은 하나의 입력 신호에 대해 한번의 갱신 알고리즘을 수행함으로 탭 계수를 한번 갱신하는 단일 탭 갱신 알고리즘을 사용한다. 그러나 단일 탭 갱신 알고리즘은 탭 수를 증가시켜도 특정 탭 수 이상에서는 제곱평균에러가 더 이상 개선되지 않는다. 따라서 본 논문에서는 사용한 탭 수는 동일하면서도 수렴율을 줄일 수 있도록 하나의 입력 데이터를 I 번 반복적으로 처리하여 탭 계수를 갱신하는 다중 탭 갱신 알고리즘(multi-tap update algorithm) 을 제안하였다.

이에 대한 블록도는 [그림 5]에 보인 바와 같다. 여기서 τ 는 다중 탭 간격을 나타내며

$\mathbf{w}_i(n-1)$ 은 다중 갱신되는 탭 이득 계수 벡터를 나타낸다.

앞에서 설명한 바와 같이 기존 순차적 최소 제곱 알고리즘의 탭 계수 갱신 방정식으로부터



[그림 5] 제안한 알고리즘의 신호 흐름도

$$\mathbf{w}(n) = \mathbf{w}(n-1) + \sum_{i=0}^I \mathbf{k}(n-i) \xi_i^*(n) \quad (3)$$

여기서

$$\xi_i^*(n) = d(n-i) - \mathbf{w}_i^H(n-1) \mathbf{u}(n-i) \quad (4)$$

이고 H 는 Hermitian 변환을 나타내며 $*$ 는 공액복소수이다.

$$E[\mathbf{w}(n)] = \left(I - \frac{1}{\alpha} \right) E[\mathbf{w}(n-1)] + \frac{1}{\alpha} \mathbf{w}_{opt} + \sum_{i=1}^I \left\{ \frac{1}{\alpha-i} (\mathbf{w}_{opt} - E[\mathbf{w}_i(n-1)]) \right\} \quad (5)$$

이 된다[7]. 여기서 $\alpha = n - M - 1$ 이다.

또한 $\mathbf{w}(n)$ 의 기대값과 최적 탭 계수 \mathbf{w}_{opt} 간의 차이를 새로운 벡터 $\mathbf{f}(n)$ 으로 정의하면 이는 다음과 같다.

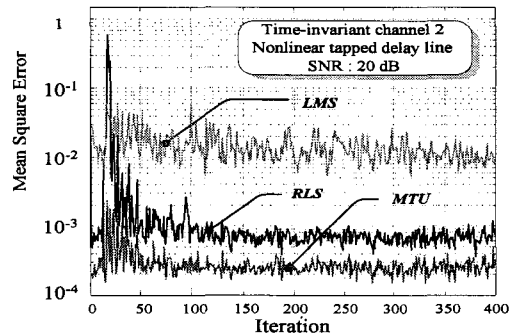
$$\mathbf{f}(n) = [f(n,0), f(n,1), \dots, f(n,L)]^T \quad (6)$$

여기서 L 은 벡터 $\mathbf{f}(n)$ 의 원소의 갯수이다. 따라서

$$E[\mathbf{w}(n)] - \mathbf{w}_{opt} = I E[\mathbf{w}(n-1)] - \frac{1}{\alpha} E[\mathbf{w}(n-1)] + \frac{1}{\alpha} \mathbf{w}_{opt} - \mathbf{w}_{opt} - \sum_{i=1}^I \left\{ \frac{1}{\alpha-i} (E[\mathbf{w}_i(n-1)] - \mathbf{w}_{opt}) \right\} \quad (7)$$

식 (7)의 우변의 마지막 항으로부터 알 수 있듯이 다중 갱신 알고리즘의 갱신을 I 가 증가할수록 현재의 탭 계수 $\mathbf{w}(n)$ 과 최적 탭 계수 \mathbf{w}_{opt} 간의 간격이 $\left(1 - \sum_{k=0}^I (\alpha - k)^{-1} \right)^{I+1}$ 의 비율로 줄어들 수 있다.

[그림 6]은 제안된 알고리즘의 특성을 검증하기 위하여 이미 검증된 시불변 채널에 대하여 일반적인 보상 알고리즘인 LMS, RLS와 제안한 다중 탭 갱신 알고리즘(MTU)의 수렴특성을 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이 제안된 알고리즘의 수렴특성이 우수함을 확인할 수 있다.



[그림 6] 비선형 탭 지연선 구조의 MSE

4. 모의실험 및 고찰

본 논문에서 모의실험에 사용한 광대역 시변채널모델은 미국 JTC에서 제안한 9 개의 PCS 채널환경 중에서 이동체의 속도가 26.8 m/s(96 km/h) 정도이고 도플러 천이가 ±171 Hz 인 실외 저층건물이 있는 도심지역 또는 시외곽 지역에 대한 채널모델(channel 8) 을 사용하였다. 컴퓨터 모의실험을 위해 사용된 데이터는 신호의 불규칙성을 만족시키기 위해 식 (8)과 같은 생성 다항식(generating polynomial)을 갖는 의사잡음 부호열을 사용하였다[8,9].

$$g(x) = 1 + x^2 + x^{12} + x^{16} \quad (8)$$

변조방식은 DS/BPSK를 사용하였으며 반송파 주파수는 1920 MHz, 확산된 데이터의 전송속도는 10 Mcps 가 되도록 하였다.

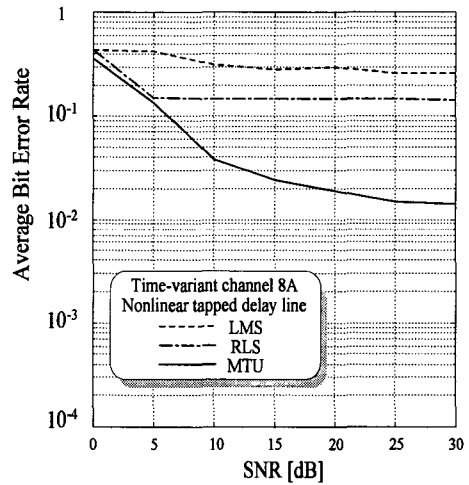
[표 2]는 본 논문에서 고려한 채널환경에 대한 RMS 다중 경로 확산과 탭 지연선 구조의 각 탭에 대한 경로이득(relative path gain)을 나타내고 있다.

[표 2] 탭 지연선 파라미터(channel 8)

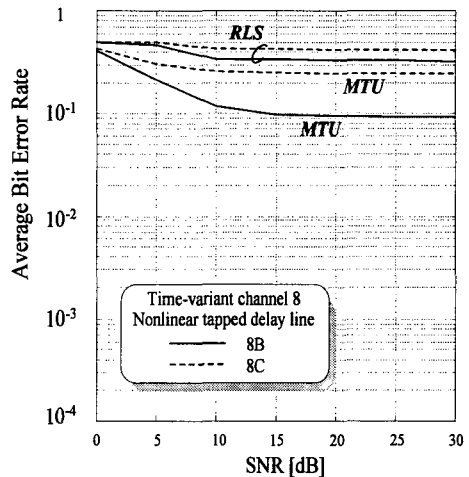
탭 수	채널 A		채널 B		채널 C	
	상대지연 (nsec)	평균전력 (dB)	상대지연 (nsec)	평균전력 (dB)	상대지연 (nsec)	평균전력 (dB)
1	0	-1.6	0	-2.5	0	-4.8
2	100	-5.1	300	0.0	300	-0.3
3	200	0.0	8900	-12.8	800	-7.4
4	500	-7.6	12900	-10.0	8000	0.0
5	1200	-6.9	17100	-25.2	27000	-6.5
6	1600	-27.6	20000	-16.0	55000	-9.8

[그림 7]은 저층 건물이 있는 도심지역 또는 시외곽지역에 대한 채널에서 적은 지연확산이 자주 발생하는 경우에 대한 평균 BER 특성 곡

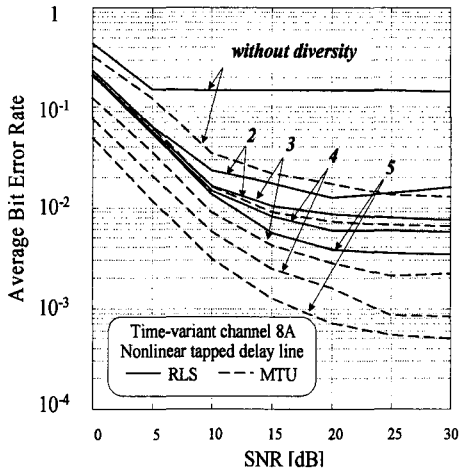
선이다. LMS나 RLS에 비해 제안한 알고리즘인 MTU 알고리즘의 에러율이 우수하나 만족할 만한 결과를 얻기에는 에러율이 높은 편이다.



[그림 7] 채널특성에 따른 평균 BER(A)



[그림 8] 채널특성에 따른 평균 BER(B,C)



[그림 9] 다이버시티 수신에 따른 평균 BER

[그림 8]은 고찰하고자 하는 채널에 대해서 중간 정도의 지연 확산이 자주 발생하는 경우 (B)와 많은 지연 확산이 아주 가끔 발생하는 경우(C)에 대한 평균 BER 특성 곡선이다. 이 결과로부터 알 수 있듯이 채널 A인 경우보다 채널 B가 더 열악한 상태이며 채널 C의 경우는 최악의 채널 상태임을 알 수 있다. 또한 [그림 7]과 [그림 8]의 경우 모두 아무리 우수한 보상 알고리즘이라도 급격하게 변하는 페이딩 환경에서는 통신이 불가능하다는 것을 알 수 있다. [그림 9]는 저층 건물이 있는 도심지역 또는 시외곽 지역에서 적은 지연 확산이 자주 발생하는 채널 환경에 대하여 branch diversity를 수행한 결과에 따른 평균 BER 특성 곡선이다. 그림에서 보는 바와 같이 다이버시티를 수행한 결과 또한 RLS 알고리즘에 비해 MTU 알고리즘이 우수한 보상 능력을 보이고 있다. 위의 결과에 채널 코딩 등의 데이터 처리 기법이 첨가된다면 원하는 BER 특성을 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

5. 결론

본 논문에서는 시변 이동 무선 채널에서 발

생하는 심각한 주파수 선택성 페이딩과 전송 손실을 보상하기 위해 비선형 탭 지연선 구조 및 결정 궤환 탭 지연선 구조를 사용하고 각 지연선 구조의 탭 계수를 채널 상태에 적합하게 갱신할 수 있는 알고리즘으로 다중 탭 갱신 알고리즘을 적용하였다. 1920MHz의 반송파 주파수를 갖는 DS/BPSK 시스템에 10Mcps의 속도로 데이터를 송수신하고 수신 시스템의 성능을 제곱 평균에러 및 평균 비트 오류율 통해 평가하였다.

모의 실험 결과 기존의 보상 알고리즘인 RLS 알고리즘보다 본 논문에서 제안한 다중 탭 갱신 알고리즘의 평균 BER이 10^{-1} 이상 향상됨을 확인하였으며 다이버시티 사용 결과 평균 비트 에러율이 10^{-2} 정도 개선되어 RLS 알고리즘에 비해 신호대 잡음비가 평균 10dB 이상 개선되는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] M. Kavehrad and G.E. Bodeep, "Design and Experimental Results for a Direct Sequence Spread Spectrum Radio using Differential Phase Shift Keying Modulation for Indoor, Wireless Communications," IEEE J. Select. Area. Comm., pp. 815~823, June 1987.
- [2] P. Balaban and J. Salz, "Optimum Diversity Combining and Equalization in Digital Data Transmission with Applications to Cellular Mobile Radio - Part I: Theoretical Considerations," IEEE Trans. on Comm., Vol. 40, pp. 885~907, May 1992.
- [3] E.N. Gilbert, "Mobile Radio Diversity Reception," Bell Systems Technical Journal, pp. 2473~2492, Sept. 1969.
- [4] David Parson, *The Mobile Radio Propagation Channel*, Halsted Press, New York, 1992.
- [5] Joint Technical Committee of Committee

T1 R1P1.4 and 46.3.3/TR45.4.4 on Wireless Access, "RF Channel Characterization and System Deployment Modeling," Paper No. JTC(AIR)/ 94.09.23-065 R6, Sep. 23, 1994.

[6] P.M. Embree and Bruce Kimble, *C Language Algorithms for Digital Signal Processing*, Prentice Hall, 1991.

[7] S. D. Lee, "An Improved Reception Algorithm in Mobile Broadband Time-Variant Channel," Dankook Univ., 1999.

[8] Rodger E. Ziemer and Roger L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*, Macmillan, New York, 1985.

[9] 진년강, *아날로그와디지털 통신*, 청문각, 1996.

이승대

1999년 8월 ; 단국대학교 대학원 전자공학과
(공학박사)

1995년 4월 ~ 현재 남서울대학교 전자공학과
부교수

주관심 분야 : 초고주파 통신, 이동통신, 채널
모델링