

고속 디지털무선통신에 있어서 멀티 패스 채널 추정과 비터비 등화기의 동작특성

A Channel estimation for multipath channel and performance of Viterbi equalizer of high speed wireless digital communication

박 종령, 박 남천, 주 창복

Jong-ryung Park, Nam-chun Park, Chang-bok Joo

요약

최근의 디지털 통신시스템은 정보 통신 이용자의 급격한 증가와 영상과 음성 및 각종 데이터의 멀티미디어화로 인해 데이터가 고속화 되고 있다. 그러므로 멀티미디어 디지털 통신에서는 고속의 정보전송과 높은 통신 품질이 동시에 요구되고 있다.

이와 같은 고속의 데이터 전송에 있어서 야기되는 문제는 멀티패스에 의한 페이딩 현상이다. 멀티패스 페이딩 채널에서는 ISI(Intersymbol Interference)라고 하는 신호간의 간섭에 의해서 선형 또는 비선형 왜곡이 일어나게 되며 이러한 왜곡된 신호를 보상하기 위한 여러 가지 등화기와 적응 알고리즘이 소개되고 있다.

본 논문에서는 지연스프레드가 긴 통신채널에서 통신 품질을 향상하기 위해 RLS 알고리즘에 의한 결정귀환 등화기와 RLS-MLSE에 의한 채널 추정과 비터비 등화기의 성능을 비교, 분석하였다. 특히 채널의 임펄스 응답이 비교적 긴 지연스프레드와 non-minimum phase 특성을 갖는 경우에 대하여 비교적 정확한 채널 임펄스응답의 추정과 우수한 등화특성을 보인다.

Abstract

Recently, digital communication system becomes high speed, as communication demand dose not only increases sharply, but an image, voice various kinds data also comes multimedia.

In transmitting data at a high speed, the main problem is fading by multipath. A linear or nonlinear distortion arise In multipath channel fading from ISI(Intersymbol Interference). For restoring this distorted signal, A lot of equalizer and adaptive algorithm is introduced.

This paper compares and analyses, for improving communication quality in channel which is long delay spread, performance of decision feedback equalizer by RLS algorithm, a channel estimation by RLS-MLSE and viterbi equalizer. Particularly, there is exactly channel estimation of impluse response and excellent property of equalization about channel, which delay spread is long impluse response comparatively and is property of non-minimun phase.

Key words : Viterbi, RLS, MLSE, Channel estimation, Multipath channel, Equalizer

1. 서론

디지털 통신시스템은 정보통신 이용자의 급속한 증가와 영상 및 음성정보신호의 데이터양의 증가로 인해서

데이터전송의 고속화가 요구되고 있다. 고속의 데이터 전송시스템에서는 타사용자로부터의 간섭에 부가하여 멀티패스에 의한 부호간 간섭이 발생하게 된다. 전송로는 일반적으로 대역폭이 제한된 채널이며 이러한 대역폭이

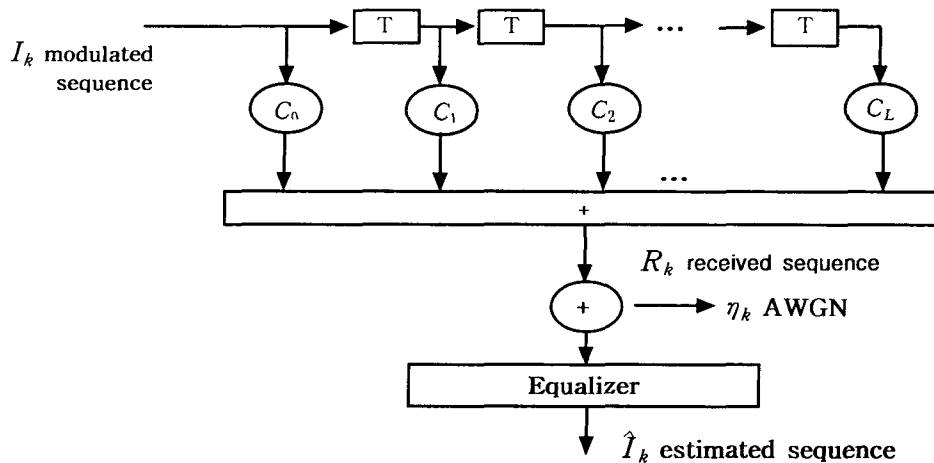


Fig. 1. Communication system model

제한된 채널을 통과하는 신호는 선형 또는 비선형 및 부가적 잡음에 의한 왜곡을 받게 된다. 그래서 부호간 간섭을 취해내어 통신품질의 향상을 기하기 위한 시간-공간 신호처리의 적응배열의 신호처리시스템이 검토되어 왔다[1,2].

이러한 채널에서는 ISI(Inter Symbol Interference)라 하는 신호간의 간섭에 의해서 선형 또는 비선형 왜곡이 일어난다[3,4]. ISI를 일으키는 채널에 대해서 등화기[3~7]는 신호왜곡을 보상해주는 역할을 한다. 신호왜곡에 의한 전송특성의 열화를 극복하기 위한 기술의 하나로서 적응 등화기 연구가 많이 행해지고 있다.[7~9]

적응 등화기는 1심볼 이상의 지연이 존재하는 경우에도 효과적인 동작을 하고 장치규모도 비교적 작아 주파수 페이딩 대책으로서 효과적인 기술이며 이에 대한 연구가 이루어지고 있다.

채널에 의한 선형 왜곡에 대한 보상으로는 일반적으로 트랜스버설 필터 형태의 등화기가 사용된다. 선형 왜곡에 대한 등화기는 기본적으로 유한 임펄스응답(FIR)필터를 기초로 하며 채널에서 일어나는 선형 왜곡을 가장 간단하게 추정이 가능하다[10,11].

본 논문에서는 다양한 형태의 채널 임펄스응답[6,9,12] 중에서 minimum phase 특성과 non-minimum phase 특성의 임펄스응답 채널에 대한 DFE (Decision Feedback Equalizer)와 MLSE(Maximum Likelihood sequence Estimation)의 비터비 등화기의 채널 추정알고리즘의 성능과 등화 특성을 비교, 분석하여 보았다.

II. 모델화 통신시스템

그림 1은 부호간 간섭이 존재하는 전송로에서의 통신 시스템 모델을 보인 것이다.

$$r_k = \sum_{i=0}^L c_i g_{k-i} + \eta_k \quad (1)$$

여기서 $c_i (i=1, 2, \dots, L)$ 는 전송로 임펄스응답, L 은 임펄스 메모리 길이, η_k 는 부가 가우시안 잡음이고, $g_k = g(t)I_k$, $g(t) = \text{rect}(t/T)$ 이다. 또 I_k 는 이진부호, T 는 코드부호의 펄스 타임슬롯을 나타낸다.

일반적으로 통신 신호의 전송로인 채널은 채널 필터부와 노이즈 발생부로 나누어질 수 있다. 노이즈 발생부는 평탄한 주파수 밀도를 가지는 백색 가우시안 잡음으로 모델화 한다.

채널 필터부는 송신부와 수신부 사이의 매체의 전달함수로서 모델화 한다. 다시 말해 통신 시스템에서 채널의 임펄스 응답을 채널로 모델화 하는 것으로 여러 다른 경로를 통해 수신에서 송신으로 도달하는 신호의 형태로 채널을 모델화를 한다[3,4].

멀티패스 채널은 연속적인 다른 경로 또는 몇몇의 지연을 가지는 이산적 경로로서 표현하며 대부분의 통신 채널의 형태는 멀티 패스 채널로 표현을 하고 이산 경로의 형태를 다음과 같이 나타낸다.

$$h(n) = \sum_k a_k \delta(\tau - \tau_k) \quad (2)$$

여기서 k 는 각 이산 경로를 나타내며 a_k 와 τ_k 는 각 경로에서의 크기와 지연을 나타낸다. 일반적으로 신호전송로인 채널은 몇 개의 지수 함수적으로 감소하는 지연파로 표현이 되며 각 지연파의 크기는 가우시안 랜덤 변수로 표현이 된다. 위와 같이 모델화 된 채널에서 각 지연파의 크기는 레일레이 분포를 가지고 위상은 균일한 분포를 나타낸다.

III. 채널추정과 MLSE등화기

3.1 채널추정 알고리즘

MLSE의 등화에서는 수신 신호와 추정 신호사이의 유클리디안[3] 거리를 이용한다. 이 때 추정 신호를 만들어

내기 위해서는 채널의 이산 시간 계수값에 대한 지식이 있어야 한다. 그러므로 추정 신호를 만들어 주기 위해서는 시간에 따라 변하는 채널의 이산 시간 계수값을 추정해 주는 채널 추정기가 필요하다.

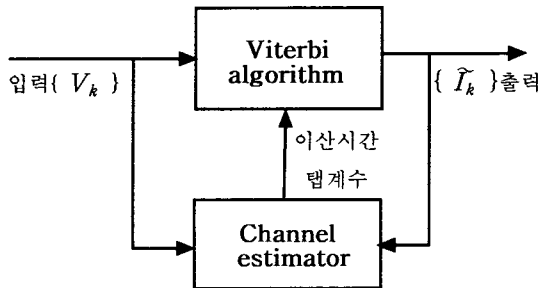


Fig. 2. Viterbi equalizer with channel estimator

그림 2는 채널추정기와 MLSE의 비터비 등화알고리즘의 결합구조를 보여주고 있다. 여기서 적응 채널 추정기의 구조는 트랜스버설필터타입의 정합필터로하며 채널 모델은 앞절에서 다루었던 백색화 필터를 포함하는 등가 이산 시간 채널 모델이라 가정한다[3,4].

실제로 채널 추정기는 심볼간의 간섭을 모델링하는 등가 이산시간 채널 모델과 같은 모양을 한다. 채널추정을 위한 알고리즘으로는 RLS알고리즘[1,4,9]을 사용한다.

3.2 비터비알고리즘

그림2에서와 같이 수신단에서의 정합필터의 샘플링값 y_n 에 대한 상태 벡터로 s 를 정의하면 이것은 시간 nT 에서의 수신신호 I_n 을 포함하는 모든 이전 데이터 레벨들의 벡터로 다음의 데이터 레벨 I_{n+1} 과 함께 다음의 관찰값 y_{n+1} 에서의 신호부분을 형성하게 된다.

채널의 지속구간 즉, 메모리의 개수를 L 이라고 하고 프라임 기호는 벡터의 전치를 나타낸다면 상태벡터는 L 개의 성분을 가지는 $s_n = (I_{n-L+1}, \dots, I_n)$ 으로 표현되며 각 상태에서의 브랜치메트릭[3]

$$T(s_n) = -2\text{Re}(I_n^* y_n) + 2 I_n^* \sum_{k=n-L}^{n-1} I_k x_{n-k} + I_n^2 x_0 \quad (3)$$

에서 상태 벡터 s_{N_1}, \dots, s_n 의 열은 정보열 I_{N_1-L+1}, \dots, I_n 에 대한 정보를 가지고 있으므로 상태 벡터열에 대한 추정은 정보열에 대한 추정을 행한 것과 동일한 결과를 주게 된다.

식 (3)에서 x_k 는 채널의 임펄스응답을 나타낸다.

IV. MLSE 등화기의 동작특성

4.1 채널추정 특성

그림 3은 RLS에 의한 가정된 minimum phase채널의 임펄스응답의 추정결과를 보인 것이다. 수신단에서의 S/N의 비를 15dB라 할 때 100개의 멀티패스를 가지는 채널함수의 추정결과가 나타나 있다.

또한 그림 4에는 100개의 멀티패스를 갖는 가정된 non-minimum phase채널에 대한 RLS알고리즘에 의한 채널의 임펄스응답의 추정결과가 나타나 있다.

특히 멀티패스의 수가 적은 경우에는 정확하게 채널의 임펄스응답을 추정하게 되나 점차 그 수를 증가하게 되면 추정의 성능은 저하하게 된다. 또한 그림을 통하여 알 수 있듯이 S/N의 비가 큰 경우에서 채널추정이 비교적 잘 이루어 지고 있음을 알 수 있다.

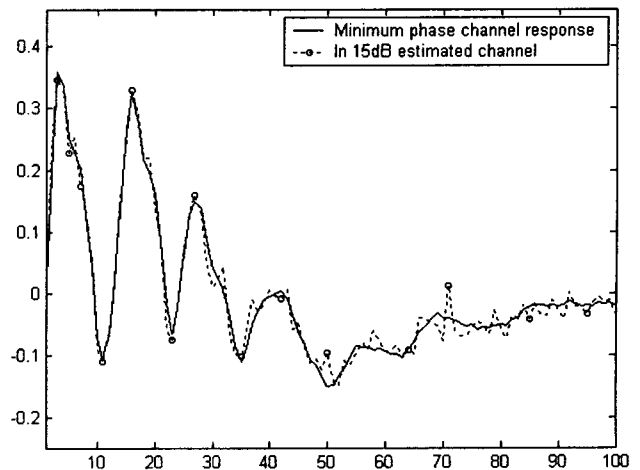


Fig. 3. The result of minimum phase channel estimation with RLS

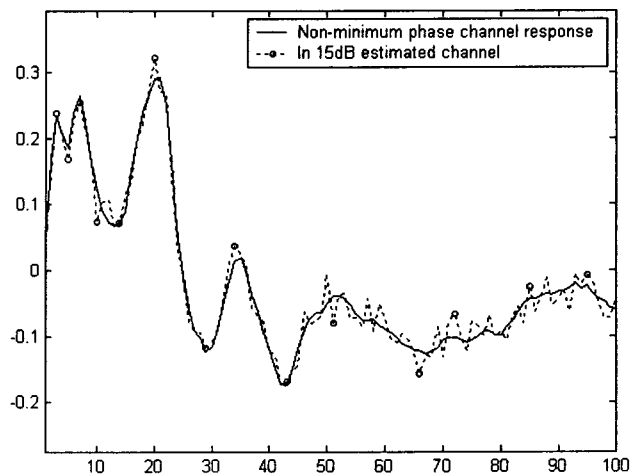


Fig. 4. The result non-minimum phase channel estimation with RLS

4.2 등화기의 BER 특성

그림 5과 그림 6은 가정된 minimum phase와 non - minimum phase 채널에서의 수신신호에 대한 DFE와 MLSE의 비터비등화기의 BER 특성을 나타내 보인다. 시뮬레이션에서는 맨체스터 코드펄스를 전송신호로 사용하였다.

사용된 DFE는 51개 탭의 전방 필터와 50개 탭의 귀환필터로 구성하였으며 적응알고리즘으로는 RLS를 사용하고, RLS 알고리즘에서의 망각계수는 $\lambda=1.0$ 의 특성값을 사용하였다.

또한 MLSE에서는 식(3)으로 표현되는 변형된 상태추정방식을 이용한 비터비 알고리즘을 사용하였다.

적용 알고리즘으로 RLS 알고리즘을 사용하여 변형된 MLSE의 비터비등화기와 DFE 등화기의 BER 성능을 비교해 본 결과 그림 5과 그림 6에 나타내 보이고 있는 바와 같이 DFE보다는 비터비등화기의 성능이 보다 우수해 보인다.

특히 각의 알고리즘의 수렴관계를 고찰해본 결과 non-minimum phase 특성의 채널에 대해서는 MLSE의 비터비등화기가 특별히 뛰어난 BER 성능을 나타내 보여 주고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 신호전송에 있어서 멀티패스의 채널 특성으로부터 신호지연과 그로 인한 신호간 간섭에 의해 왜곡되어 수신되어지는 신호로부터 수신심볼의 판정에서의 오율성능을 개선하기 위한 등화 알고리즘과 채널추정에 대하여 기술하고 이에 대한 시뮬레이션 결과를 보였다.

채널의 임펄스 응답은 minimum phase와 non - minimum phase 특성으로 나타내지는 경우에서와 같이 매우 복잡하고 다양한 형태로 나타나는 것이 이동무선환경의 일반적인 경우이며, 또한 특별한 경우의 유선채널에서도 이러한 전송로 특성을 보인다.

모델화 채널에 대한 임펄스응답의 추정에 있어서 멀티 패스의 수가 적은 경우에는 보다 정확한 채널추정의 성능을 나타내었으나 그 수가 많아짐에 따라 추정성능은 열화하여 나타났다.

특히 변형된 상태추정방식을 사용한 비터비 알고리즘에 의하여 minimum phase 특성을 가지면서 멀티패스의 지연신호파의 수가 많은 경우의 채널에 대한 임펄스응답의 추정성능과 BER 특성을 보였으며 직접파보다 멀티패스의 지연신호파의 세기가 큰 non-minimum phase 특성의 채널에서의 동작특성에 대한 기술과 함께 DFE와 MLSE 등화기의 동작특성을 비교, 분석하였다.

본 논문에서의 실험결과 채널의 임펄스응답 추정에 있어서 RLS 알고리즘은 빠른 수렴성능과 비교적 정확한 추정특성을 나타내 보였으며, 멀티패스의 수가 많은 non-minimum phase의 채널특성에서도 우수한 등화특성을 나타내 보였다.

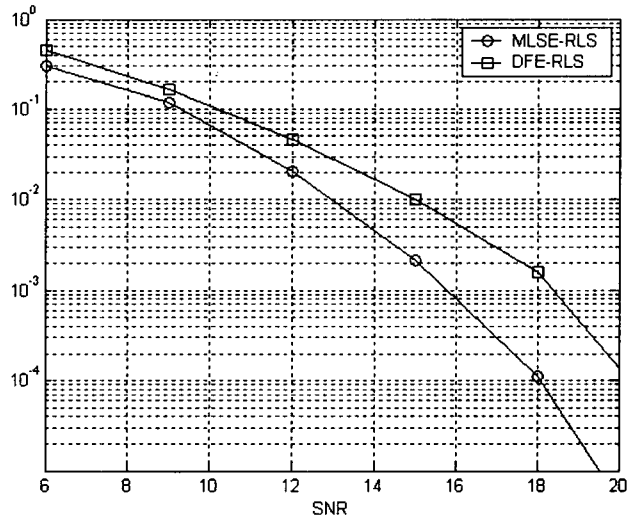


Fig. 5. BER characteristics in the minimum phase channel

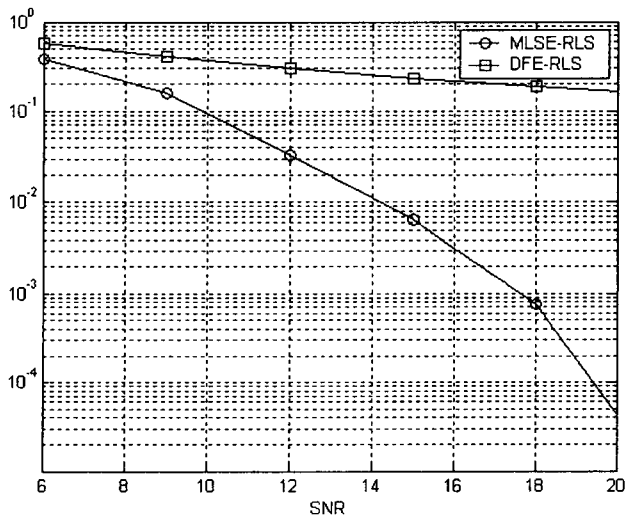


Fig. 6. BER characteristics in the non-minimum phase channel

접수일자 : 2002. 4. 9 수정완료 : 2002. 4. 30

이 논문은 2000년도 경남대학교 부설연구소 연구비 지원에 의하여 쓰여진 것임.

참고문헌

- [1] D.H. Johnson and D.E. Dudgeon, Array Signal Processing, Prentice-Hall, 1993.
- [2] J. R. Treichler and B. G. Agee, A new approach to multipath correction of constant modulus signals, IEEE Trans. ASSP-31, No.2, pp459-472, 1983
- [3] Bernard Sklar, Digital communication 2nd ed., Prentice-Hall, pp149-161, 2001.
- [4] Bernard Widrow and Samuel D.Stearns, Adaptive signal precessing, Prentice-Hall, 1985
- [5] Theodore S. Rappaport, Wireless commincation, IEEE press, pp299-232, 1996
- [6] John M Morton, Adapative Equalization for Indoor Wireless Channels, 1998
- [7] Z. Dinz, R. A. Kennedy, B. D. O. Anderson, C. R. Johnson, Jr, Convergence of Godard blind equalizers in data communications, IEEE Trans. Commun., vol.39, pp1313-1328, 1991
- [8] R. Kohno, Spatial and temporal communication theory using adaptive antenna array, IEEE, Personal communication magazine, vol.5, No.2, 1998
- [9] S. Denno and T. Ohira, Adaptive array with equalization based on digital signal processing. IEICE AP99-119, pp97-103, 1999
- [10] K. Ishi and T. Ohsawa, Teoretical analysis of throughput performance for wireless LAN system in multi-cell environment. IEICE vol. J83-B, No.3, pp267-275, 2000
- [11] S. Tomisato, N. Miki, T. Matsumoto, Signal transmission performance of ajoint spatial and temporal equalizer using seperated spatial and temporal signal processing for mobile radio communications. IEICE RCS2000-2, pp7-12, 2000
- [12] Simon Haykin Editor, Blind Deconvolution, Prentice-Hall, pp181-258, 1994.



박종령(Jong-ryung Park)

準會員

2000년 경남대학교 전자공학과 (공학사)

2002년 경남대학교 전자공학과 (공학석사)

관심 분야 : 이동통신, 무선통신 시스템 및 통신신호처리



박남춘(Nam-chun Park)

正會員

1978년 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1980년 경북대학교 전자공학과 (공학석사)

1987년 경북대학교 전자공학과 (공학박사)

1980~현재 경남대학교 전기전자공학부 교수

관심 분야 : 적응 신호처리, 영상 신호처리



주창복(Chang-bok Joo)

正會員

1975년 한국항공대 전자공학과 (공학사)

1977년 고려대학교 전자공학과 (공학석사)

1987년 고려대학교 전자공학과 (공학박사)

1987년 일본 상지대 전자공학과 연구교수

1992년 미국 일리노이 주립대 시카고교

전자컴퓨터공학과 객원교수

1981~현재 경남대학교 전기전자공학부 교수

관심 분야 : 이동통신, 무선통신 시스템 및 통신신호처리