

논문 2004-41SP-5-28

다이내믹 다중경로 채널에서의 디지털 텔레비전 방송 신호에 대한 블라인드 등화

(Blind Equalization of Digital Television Broadcasting Signals in Dynamic Multipath Channels)

오 길 남*

(Kil Nam Oh)

요 약

지상파 디지털 TV 신호를 등화하기 위한 이중모드 블라인드 판정귀환 등화기(dual-mode blind decision feedback equalizer)를 제안한다. 제안한 이중모드 판정귀환 등화기는 채널 상태에 따라 판정의거 모드 또는 블라인드 모드에서 동작한다. 등화기의 탭 계수 갱신에 사용될 오차 신호를 판정의거 모드 또는 블라인드 동작 모드에서 발생시킴으로써 탭 계수 갱신의 신뢰도를 높일 뿐만 아니라, 채널의 왜곡 정도에 따라 등화기의 동작이 판정의거 모드와 블라인드 모드 간을 자동 전환함으로써 채널 특성의 변화를 추적할 수 있다. 모의실험을 통해 다양한 정적 및 다이내믹 다중경로 채널 하에서 8-VSB(vestigial sideband) 변조된 디지털 TV 신호에 적용하여 제안한 등화 기법과 종래의 방법에 의한 성능을 평균 자승 오차(mean square error: MSE)와 심벌 오율(symbol error rate: SER) 관점에서 비교, 제안한 방법의 유용성을 확인하였다.

Abstract

In this paper, proposed is the dual-mode algorithm of blind decision feedback equalizer (DFE) for digital terrestrial television signals. According to channel impairments, the proposed dual-mode algorithm for blind DFE operates in decision-directed mode or in blind mode of operation. The error signals being used in tap update of the equalizer are generated in the best mode of operations, so that the confidence of equalizer tap coefficient update is more accurate. As a result, it is possible to track the channel characteristics variations by automatic switching over between two modes of operations. For 8-level vestigial sideband modulated digital television signals, the mean square errors and symbol error rates of the proposed algorithm are compared with those of conventional methods. And the usability of the proposed scheme is assessed by computer simulations under various static and dynamic multipath channel environments.

Keywords : DTTB, VSB, ISI, Blind equalization, Multipath channel

I. 서 론

우리나라의 지상파 디지털 TV 방송의 전송 표준은 미국 ATSC DTV Standard^[1]의 VSB 변조 방식으로 선정되었다. VSB는 단일 반송파를 사용하는 잔류 측파대 진폭변조 방식으로서, 단일 6MHz 대역폭으로 고품

질의 비디오, 오디오 및 보조 데이터를 전송하며, 두 가지 방송모드, 즉 지상파를 사용한 방송모드(8-level VSB)와 고속 데이터 유희를 제공하기 위한 케이블 방송모드(16-level VSB)를 지원한다.

지상파 TV 방송은 지형과 빌딩 등에 의한 다중경로 신호와 인공 잡음, 그리고 혼잡한 TV 방송 주파수 스펙트럼으로 인한 아날로그 및 디지털 TV 간의 상호 간섭 등 채널에 의한 영향이 매우 심한 상황에서 강인한 신호 수신과 고품질의 서비스를 보장할 수 있어야 한다. 그러나 VSB는 단일 반송파 변조 방식으로서, 광대역의 채널로 데이터를 고속 전송하기 때문에 다중경로

* 정희원, 광주대학교 정보통신학과
(Dept. of Information and Communications,
Gwangju University)

※ 이 논문은 2001년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2001-003-E00131).

접수일자: 2004년5월28일, 수정완료일: 2004년6월28일

신호에 의한 심벌간 간섭(intersymbol interference: ISI) 문제를 피할 수 없다.

더욱이 다중경로 전파 환경은 주파수 선택성 페이딩 채널의 특성을 보이므로, 수신 단에서 페이딩에 대처하는 데에 있어서 선형 등화기는 잡음 신장 효과로 인해 적당하지 않다. 따라서 비선형 등화기가 보다 적절한데, 비선형 등화기는 오차 전파 효과로 인해 오차 추정의 신뢰성이 매우 중요하게 된다. 현재까지 VSB 수신기용의 등화기로는 판정귀환 등화기가 적용되고 있다.

본 논문에서는 다이내믹 다중경로 전파 환경에서 주파수 선택성 페이딩과 ISI 영향을 효과적으로 보상할 수 있는 블라인드 등화 기법을 제안하고자 한다. 제안 기법은 판정귀환 등화기를 바탕으로 하여, 학습 신호를 사용하는 학습 모드와 함께, 채널의 완만한 변화를 추적하는 판정의거(decision-directed: DD) 모드 및 채널의 급작스런 변화에도 대응할 수 있는 블라인드 모드를 갖는 이중모드 등화 알고리즘을 사용하며, 모드 간의 전환이 자동으로 최적의 시점에 이루어지도록 하였다.

II 장에서 블라인드 판정귀환 등화기의 초기화 방법을 기술하고, III 장에서는 제안하는 이중모드 블라인드 판정귀환 등화 알고리즘을 기술하며, IV 장에서 모의실험 및 고찰을, 그리고 V 장에서 결론을 언급한다.

II. 블라인드 판정귀환 등화

판정귀환 등화기는 전향 필터 \mathbf{w}_F 와 귀환 필터 \mathbf{w}_B 로 구성되며, 전향 필터와 귀환 필터에는 각각 수신된 심벌 열 $r(k)$ 와 바로 이전에 판정된 심벌 열 $\hat{a}(k)$ 가 입력된다. 학습 모드에서 오차 신호 $e(k)$ 는,

$$e(k) = y(k) - d(k) \quad (1)$$

이다. 여기서 $y(k)$ 는 등화기 출력으로, 전향 필터의 출력과 귀환 필터의 출력의 차로 이루어지므로,

$$y(k) = \mathbf{r}^T(k)\mathbf{w}_F(k) - \hat{\mathbf{a}}^T(k-1)\mathbf{w}_B(k-1) \quad (2)$$

가 되며, $d(k)$ 는 VSB 데이터 프레임의 필드 싱크 세그먼트 내에 주기적으로 삽입되는 학습열이 된다.

그런데 학습열은 매우 긴 주기로 보내지므로 학습 모드에 의한 방법에서는 등화기의 수렴이 매우 더딜 수밖에 없다. 특히 빠른 시변 채널 조건에서는 학습열의 주기가 채널 변화에 비해 너무 느리기 때문에 등화기가 수렴하지 못하게 된다. ATTC에서 8-VSB 방식에 대한

전송 시험에 사용한 채널에 대해 적용한 결과 약 10~15개의 데이터 필드가 소요되는 것으로 알려져 있다^[2]. 따라서 데이터 모드에서도 탭 계수의 갱신이 이루어지는 것이 요구된다.

한편, 데이터 모드에서는 학습 열 $d(k)$ 를 판정 장치에 의한, 송신 데이터 심벌 $a(k)$ 에 대한 추정 값으로 대체하므로, 오차 신호는

$$e(k) = y(k) - \hat{a}(k) \quad (3)$$

가 된다. 여기서 $\hat{a}(k)$ 은 식 (4)와 같이 단순한 임계판정 장치의 출력 값으로 주어진다.

$$\hat{a}(k) = \text{dec}(y(k)) \quad (4)$$

이때 판정 값이 정확하면 귀환 필터의 출력은 잡음을 신장시키지 않지만, 그렇지 않으면 이로 인한 오차가 ISI를 배가시킬 수 있다. 결국 판정귀환 등화기의 성능은 판정 장치 출력의 정확도에 좌우된다. 그러므로 데이터 모드에서는 단순한 임계판정 장치 대신 비선형 추정기를 사용하여 오차 추정의 신뢰도를 높이는 것이 요구된다. VSB 수신기에서는 이를 위해 블라인드 알고리즘을 사용한다.

VSB 등화기에 사용되는 블라인드 등화 알고리즘으로는 RCA(reduced constellation algorithm)^[3] 또는 CMA(constant modulus algorithm)^[4]가 있다. CMA는 단일의 일정한 modulus를 기준 신호로 사용하여 오차 신호를 형성하므로 일정 레벨의 신호점에 적합하다. 그러므로 다중레벨의 신호점에 적용 시에는 정상상태에서 오차가 크다는 문제점이 있다. 이에 대해 다수의 modulus를 사용하는 것이 하나의 해결 방법이 될 수 있다. 다중레벨 modulus 알고리즘에는 DAMA(decision adjusted modulus algorithm)^[5]와 RDA(radius-directed algorithm)^[6] 등이 있다. 이 둘 알고리즘은 모두 다수의 modulus를 적용함으로써 정상상태의 오차 레벨을 개선하였으나, 공통적으로 초기 블라인드 수렴 성능의 저하를 초래한다.

또한 Laot 등^[7]은 고차 QAM 신호점에 대한 등화를 위해, CMA와 RCA 간을 전환하는 스킴을 제안하였다. 초기 모드에서는 CMA가 동작하며, 성능 척도로 사용한 DDMSE(decision-directed MSE) J_{DD} 가 정해진 문턱값 J_0 이하로 감소하면 CMA를 RDA로 대체한다. 다시 J_{DD} 가 보다 낮은 문턱값 J_1 이하로 감소하면 DD 모드에서 동작한다. 즉 J_{DD} 의 레벨에 따라 CMA와

RDA 및 DD 알고리즘 간을 전환하도록 구현하였다. 그러나 전환 문턱값 J_0 과 J_1 이 일반적으로 결정되지 않으며 경험적으로 정해지므로 구현이 복잡하다.

III. 이중모드 블라인드 판정귀환 등화

CMA는 검출된 데이터 심벌의 modulus가 특별한 방법으로 정해지는 반경을 갖는 하나의 원주 상에 놓이는 것으로 간주한다. 그러므로 CMA는 2차원 신호점에 적용되며, CMA의 오차 신호는 다음과 같이 주어진다.^[4]

$$e(k) = y(k)(|y(k)|^2 - R_2) \tag{5}$$

여기서 일정 modulus R_2 는 송신 심벌에 의해서만 결정되며, 다음으로 정의된다.^[4]

$$R_2 = \frac{E[|a(k)|^4]}{E[|a(k)|^2]} \tag{6}$$

위 식에서 $E[\cdot]$ 는 통계적 기대값을 나타낸다.

CMA에서는 QAM과 같이 다중레벨을 갖는 신호점에 대해 등화기 출력을 일정 modulus에 투영시키는 식으로 등화를 달성하고 있다. 그러나 CMA에서 사용되는 일정 modulus R_2 는 탭 계수에 대한 비용 함수의 평균 gradient가 영이 되는 식으로 정해진 것이므로, 등화기가 충분히 수렴한 후에도 오차가 크다. 즉 CMA는 다중레벨 QAM 신호에 적용 시에는 정상 상태에서 오차가 크다는 문제점을 갖는다.

CMA를 VSB에 적용하기 위해 먼저 2차원 복소 신호 $a(k) = a_I(k) + ja_Q(k)$ 를 두 실수 성분의 결합으로 간주하고, 동상 성분 $a_I(k)$ 와 직교 성분 $a_Q(k)$ 를 서로 독립인 i.i.d. 열로 가정하면, 결과적으로 실수 등화기 두 개를 사용하여 복소 등화기를 구성할 수 있다. 이때 오차 신호의 동상 성분과 직교 성분은 각각

$$e_I(k) = y_I(k)(y_I^2(k) - R_{2,I}) \tag{7}$$

$$e_Q(k) = y_Q(k)(y_Q^2(k) - R_{2,Q}) \tag{8}$$

가 된다. 여기서 일정 modulus $R_{2,I}$ 와 $R_{2,Q}$ 는 그림 1에 나타난 바와 같이 신호점의 동상 성분과 직교 성분에 대해 각각 다음과 같이 정의된다.

$$R_{2,I} = \frac{E[|a_I(k)|^4]}{E[|a_I(k)|^2]} \tag{9}$$

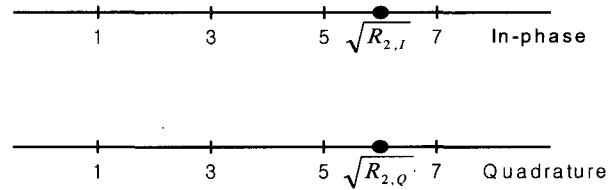


그림 1. 64-QAM 신호점의 동상 성분과 직교 성분에 대한 일정 modulus

Fig. 1. Constant modulus for in-phase and quadrature components of 64-QAM constellation.

$$R_{2,Q} = \frac{E[|a_Q(k)|^4]}{E[|a_Q(k)|^2]} \tag{10}$$

이와 같이 1차원 형태로 변형한 CMA(modified CMA: MCMA)는 오차 신호 계산 시 복소 연산을 단순한 실수 연산으로 수행하므로 하드웨어 구현 측면에서 유리할 뿐만 아니라, CMA에서 피할 수 없는 위상 회전의 문제를 해결함으로써 위상 복원 회로의 사용을 불필요하게 한다.

또한 MCMA에서는 ISI와 위상 오차를 동시에 제거하므로 보다 정확한 오차 신호 추정이 가능하며, 따라서 CMA에 비해 보다 적은 ISI와 빠른 수렴 속도를 얻을 수 있다. 그러나 MCMA에서 사용한 일정 modulus 역시 원래의 CMA에서와 같은 방식으로 정해지는 것이므로, MCMA에서도 정상 상태에서 여전히 오차 레벨이 만족스럽지 못하다. 이를 개선하기 위해 오차 신호 발생 시 MCMA와 판정의거(DD)에 의한 오차 추정을 병행, MCMA 모드의 블라인드 수렴 특성과 판정의거 모드의 정상 상태 특성을 갖도록 한 이중모드(dual-mode) 알고리즘을 제안한다.

제안하는 이중모드 알고리즘은 수신 신호점의 눈 모형을 닫혀있는 등화 초기에는 MCMA에 의해 초기 수렴을 달성하고, 이후에는 판정의거 알고리즘에 의해 정상 상태에 도달하도록 한다. 판정의거 알고리즘은 단순한 임계판정 장치에 의한 경판정을 수행하는데, 이것은 등화기 출력이 신호점 공간상에서 두 심벌의 경계 근방에 놓일 때 가장 부정확한 판정으로 될 가능성이 높다. 그럼에도 불구하고 이 경우에 오차 신호가 가장 커지므로 등화기 탭 계수가 가장 크게 갱신된다. 따라서 판정의거 알고리즘의 동작을 눈 모형이 열린 상태로 한정함으로써 보다 신뢰성을 갖도록 할 필요가 있다.

그림 2와 같이 빗금 친 영역을 각각 동상 성분에 대한 신뢰구간 C_I 와 직교 성분에 대한 신뢰구간 C_Q 라 할 때, 등화기 출력이 신뢰 구간 내에 들면 눈 모형이

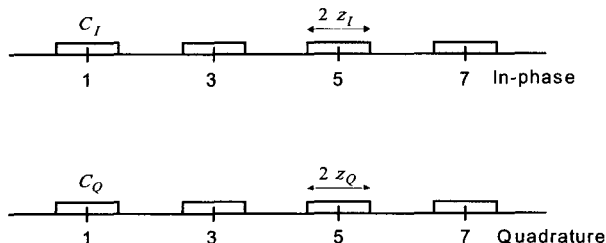


그림 2. 64-QAM 신호점의 동상 성분과 직교 성분에 대한 신뢰구간

Fig. 2. Confidence zones for in-phase and quadrature components of 64-QAM constellation.

열린 상태로 간주, 판정의거 모드에서 동작하고, 구간 밖에 있으면 MCMA 모드에서 동작하도록 한다. 그러므로 제안하는 이중모드 등화 알고리즘에서 오차 신호 $e(k) = e_I(k) + je_Q(k)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$e_I(k) = \begin{cases} y_I(k) - \text{dec}(y_I(k)) & \text{if } y_I(k) \in C_I \\ y_I(k)(y_I^2(k) - R_{2,I}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

$$e_Q(k) = \begin{cases} y_Q(k) - \text{dec}(y_Q(k)) & \text{if } y_Q(k) \in C_Q \\ y_Q(k)(y_Q^2(k) - R_{2,Q}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

그림에서 z_I 와 z_Q 는 각각 신호점의 동상 성분과 직교 성분에 대한 신뢰 구간을 나타낸다. 신뢰 구간의 범위는 $z_I, z_Q \in [0, 1]$ 의 값을 가지며, 이는 MCMA 모드와 판정의거 모드 사이의 전환 시점을 결정한다. 이 값을 조절함으로써 두 모드 간의 전환 순간을 최적화할 수 있다. 본 논문에서는 $z_I = z_Q = 0.5$ 에서 최적의 성능을 보이는 것으로 나타났다.

이중모드 등화에서는 등화기의 출력 레벨에 따라 두 동작 모드 간을 자동 전환하므로 급격한 채널 상태 변화에 대응할 수 있으며, 따라서 시변 채널 특성을 추적하는 것이 가능하다. 또한 MCMA에 의해 초기 수렴이 달성된 후에는 판정의거 모드로 전환하여 등화기 출력 오차 레벨을 더욱 개선할 뿐만 아니라, 판정의거 알고리즘의 동작을 그 오차 추정이 신뢰성 있는 영역으로 한정함으로써 판정의거 알고리즘만으로 수행하는 경우에 비해 상대적으로 큰 수렴 상수를 사용할 수 있으므로 정상상태로의 수렴을 가속화할 수 있다.

IV. 모의실험 및 고찰

모의실험을 통해 VSB 신호에 대한 제안한 이중모드

블라인드 판정귀환 등화기의 성능을 평가하였다. 적용한 6MHz 8-VSB 시스템의 파라미터는 유효 심벌 지속 시간이 $0.0929\mu\text{s}$, 변조는 8-PAM이며, 판정귀환 등화기의 탭 수는 전향 필터에 64, 귀환 필터에 192를 사용하였다.

지상파 방송 환경에서 흔히 발생하는 근거리 및 원거리 다중경로 에코들이 존재하는 환경에서 등화기의 성능을 비교, 평가하기 위해 정적인 다중경로 채널과 동적인 다중경로 채널 및 항공기 플러터 채널 등을 고려하였다. 성능 평가 지표로 등화기 출력의 평균 자승 오차(MSE)와 심벌 오류(SER)를 사용하였다.

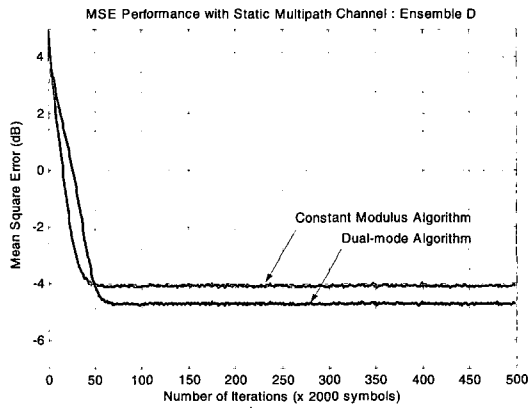
1. 정적 다중경로 시험

먼저, 정적 다중경로 시험에서는 ATTC^[2]에서 8-VSB 방식에 대한 전송 시험에 사용하였던 채널을 적용하였다. ATTC 채널에는 다양한 채널 조건을 나타내는 6개 Ensemble이 있으며, 각각의 Ensemble은 그 임펄스 응답이 하나의 주 경로 신호와 5개의 지연 경로 신호들, 즉 에코들로 이루어진다. Ensemble D 채널의 경우, 주 신호에 대해 에코의 상대적인 진폭이 각각 -20dB, -20dB, -10dB, -14dB, -10dB이며, 시간 지연은 각각 $-1.8\mu\text{s}$, $+0.15\mu\text{s}$, $+1.8\mu\text{s}$, $+5.7\mu\text{s}$, $+18\mu\text{s}$ 이다.

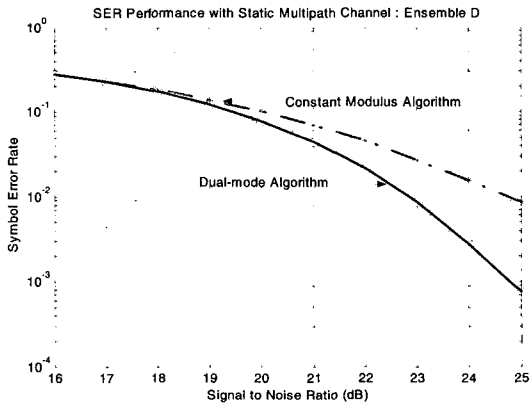
그림 3은 Ensemble D 채널에 대한 MSE 및 SER 성능이다. MSE는 20dB의 SNR 조건에서 100회의 독립적인 수행을 통해 얻은 결과를 앙상블 평균하여 나타내었다. SER은 16dB~25dB의 SNR 조건에서 계산되었다. 그림에 의하면, 제안한 이중모드 알고리즘의 경우가 CMA에 비해 수렴 속도는 유사하나 MSE 성능에서 0.7dB 정도의 개선을 보이고 있다. SER 성능에서도 제안 알고리즘이 모든 SNR 조건에서 우수한 성능을 보이고 있으며, 특히 SNR이 증가함에 따라 성능 개선이 뚜렷해지는 것으로 나타났다. 시험에 사용된 여섯 개 채널 모두에서 이와 유사한 결과를 보였다.

2. 다이내믹 다중경로 시험

실내 수신과 휴대 및 이동 수신 환경에 있어서의 채널 특성은 급격히 변화하는 것이 특징이다. 이것은 실내에서의 사람의 움직임이나, 차량 또는 항공기 등 이동체의 움직임에 의한 도플러 시프트가 그 원인으로서, 도플러 시프트는 결과적으로 수신기에서 시변 에코의 현상으로 나타나게 된다. 이와 같은 도플러 시프트 채널을 모델링 하기 위해 0Hz, 0.05Hz, 0.5Hz 및 5Hz의 4개 도플러 주파수를 설정하여 시험하였다.



(a)



(b)

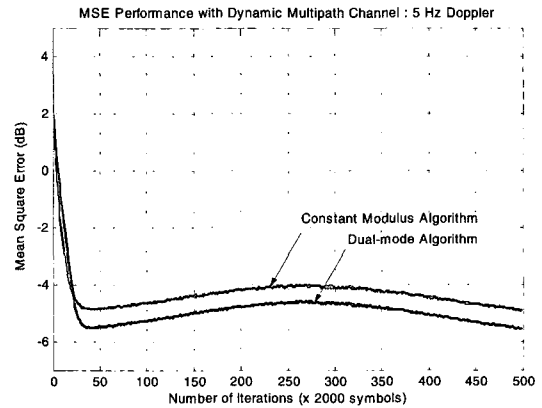
그림 3. 정적 다중경로 채널에서의 성능 (a) MSE 성능, (b) SER 성능

Fig. 3. Performance with static multipath channel (a) MSE performance, (b) SER performance.

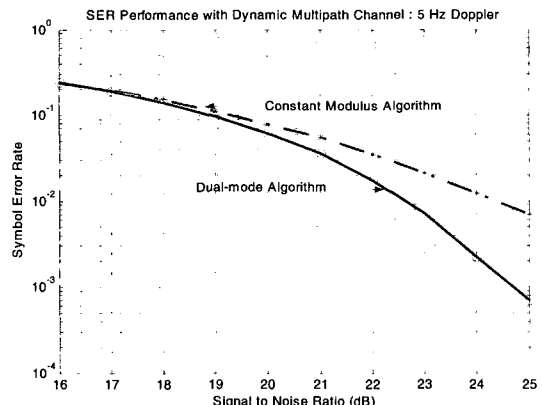
그림 4에 5Hz의 도플러 주파수를 갖는 다이내믹 다중경로 채널에 대한 시험 결과를 나타내었다. 제안 알고리즘이 CMA에 비해 채널 변화를 보다 잘 추적하여 모든 SNR 조건하에서 낮은 SER과 MSE를 보인다. 시험에 적용한 네 가지 도플러 주파수에 대한 시험 결과로부터 제안 알고리즘이 시변 다중경로 채널에서 CMA에 비해 효과적으로 채널을 추적함을 알 수 있다.

3. 항공기 플러터 시험

마지막으로 항공기 플러터(airplane flutter)에 대한 알고리즘의 성능을 비교하였다. 여기에서는 +1.02μs의 지연을 갖는 하나의 에코를 설정하여 항공기 플러터의 영향을 모델링 하였다. 에코의 진폭을 2Hz와 5Hz의 속도로 변화시켰으며, 이 때 에코의 최대 크기를 주 경로 신호에 대해 -6dB로 설정하였다. 항공기 플러터는 특히 공항 근처에서 사용되는 수신기에 영향을 끼치는 것으로, 대형 비행체의 이착륙 시 디지털 신호의 도플러 시



(a)



(b)

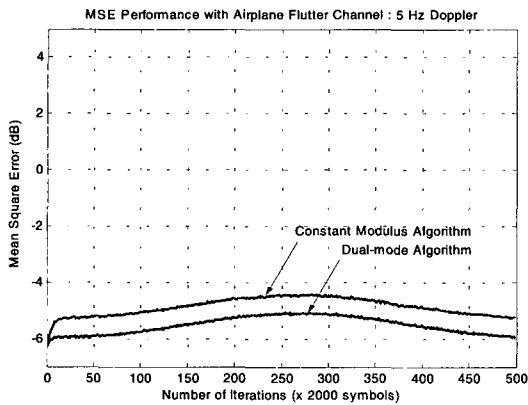
그림 4. 다이내믹 다중경로 채널에서의 성능 (a) MSE 성능, (b) SER 성능

Fig. 4. Performance with dynamic multipath channel (a) MSE performance, (b) SER performance.

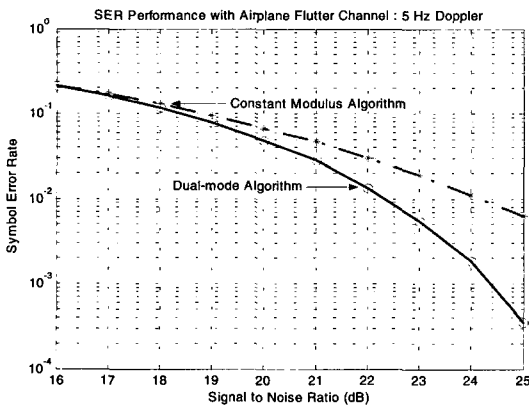
프트가 발생하는데 이것은 수신기에서 에코의 진폭에 완전한 변동을 초래하는 것으로 밝혀져 있다^[8].

그림 5에 도플러 주파수가 5Hz인 항공기 플러터 채널에서의 시험 결과를 나타내었다. 제안한 알고리즘은 CMA에 비해 채널 변화를 잘 추적하여 모든 SNR 조건에서 SER 성능과 MSE 성능을 개선하는 것으로 나타났다. 시험에 적용한 두 가지 도플러 주파수에 대한 시험에서 모두 이와 유사한 결과를 보였다. 따라서 제안 알고리즘이 CMA에 비해 항공기 플러터 채널에서 잘 동작하는 것으로 판단할 수 있다.

이상의 모의실험 결과 정적 다중경로 채널에서는 물론, 시변 다이내믹 다중경로 채널 환경과 항공기 플러터 채널에서 제안한 알고리즘이 CMA를 사용한 경우에 비해 MSE 성능과 SER 성능을 개선하였다. 이것은 이중모드 알고리즘이 채널 특성의 변화에 따라 두 모드를 자동 전환함으로써 채널 특성 변화를 보다 잘 추



(a)



(b)

그림 5. 항공기 플러터 채널에서의 성능 (a) MSE 성능, (b) SER 성능

Fig. 5. Performance with airplane flutter channel (a) MSE performance, (b) SER performance.

적합으로써 정상상태 특성을 개선하는 때문이다. 결과적으로 제안한 알고리즘이 시변 다이내믹 다중경로 채널 변화를 추적하는데 있어서 CMA에 비해 효과적이라 할 수 있다.

V. 결론

VSB 신호를 효과적으로 등화하기 위한 이중모드 블라인드 알고리즘을 제안하였다. 제안한 이중모드 알고리즘은 MCMA의 블라인드 수렴 특성과 판정의거 알고리즘의 정상상태 수렴 특성을 결합하고, 두 동작 모드를 최적인 시점에 자동 전환하도록 구현되었다. 제안 알고리즘은 VSB 신호의 블라인드 등화에 널리 사용되고 있는 CMA에 비해 시변 채널에 대한 추적 능력과 함께 정상상태 MSE 및 SER 성능이 우수하다. 따라서 지상파 방송 환경에서 시변 에코 등을 제거하는 데에

적합하다고 판단된다. 아울러 제안한 기법은 지상파 모드의 8-VSB 뿐만 아니라 케이블 응용의 16-VSB에 적용되며, 고차 QAM 신호에도 용이하게 확장될 수 있다.

참고 문헌

- [1] ATSC Digital Television Standard, Doc. A/53, Sept. 1995.
- [2] Digital HDTV Grand Alliance System Record of Test Results, Advanced Television Test Center and all, Alexandria, Virginia, Oct., 1995.
- [3] D. N. Godard and P. E. Thirion, "Method and device for training an adaptive equalizer by means of an unknown data signal in a QAM transmission system," U.S. Patent 4 227 152, Oct. 7, 1980.
- [4] D. N. Godard, "Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems," IEEE Trans. Commun., vol. COM-28, pp. 1867-1875, Nov. 1980.
- [5] W.A. Sethares, G.A. Rey, and C.R. Johnson, "Approach to blind equalization of signals with multiple modulus," IEEE ICASSP'89, vol. 2, pp. 972-975, Glasgow, April 1989.
- [6] M.J. Ready and R.P. Gooch, "Blind equalization based on radius directed adaptation," IEEE ICA SSP'90, pp. 1699-1702, Albuquerque, Apr. 1990.
- [7] C. Laot and J. Labat, "Improved blind decision feedback equalizer with self-adapted structure for high order QAM signals," ICT'98, pp. 475-478, Greece, June 1998.
- [8] M. Ghosh, "Blind decision feedback equalization for terrestrial television receivers," Proceedings of the IEEE, vol. 86, no. 10, pp. 2070-2081, Oct. 1998.

저자 소개



오길남(정회원)

1982년 2월 경희대학교
전자공학과 졸업(공학사).
1984년 2월 경희대학교 대학원
전자공학과 졸업(공학석사)
1996년 2월 경희대학교 대학원
전자공학과 졸업(공학박사)

1984년 3월~2000년 2월 한국전자통신연구원
책임연구원, 팀장 역임.
2000년 3월~현재 광주대학교 정보통신학과 교수.
<주관심분야: 디지털 통신, 적응 신호처리, OFDM 시스템>