

이중모드 형태의 Stop-and-Go 적응 블라인드 등화 알고리즘

Dual-Mode Type Stop-and-Go Adaptive Blind Equalization Algorithm

정 영 화*, 진 용 옥**
(Young Hwa Jeong*, Yong Ohk Chin**)

요 약

본 논문에서는 빠른 수렴 속도를 가지면서 정상 상태에서 작은 오차 레벨을 유지하는 이중모드 형태의 Stop-and-Go 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 특별한 결정 영역을 설정하여 등화기 출력 레벨이 어느 영역에 속하느냐에 따라 MCMA와 판정지향 알고리즘을 결합한 변형된 Stop-and-Go 알고리즘과 기존의 Stop-and-Go 알고리즘의 동작을 자동 전환한다. 컴퓨터 모의실험 결과, 제안한 알고리즘이 CMA, MCMA 및 Stop-and-Go 알고리즘등과 같은 기존의 적응 블라인드 등화 알고리즘들에 비해 잔류 심볼간 간섭과 정상 상태로의 수렴 속도면에서 모두 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose the dual mode type Stop-and-Go adaptive blind equalization algorithm which has a fast convergence speed and preserves a little error level in steady state. The proposed algorithm defines two decision region followed by automatically switched over between modified Stop-and-Go algorithm combining MCMA with decision-directed algorithm and conventional Stop-and-Go algorithm depending on which region the error level at the output of the equalizer belongs to. As a result of computer simulation, we confirm that the proposed algorithm has the performance superiority in parts of residual ISI and convergence speed compared with the conventional adaptive blind equalization algorithms, CMA, MCMA, Stop-and-Go algorithm.

1. 서 론

최근 디지털 통신이 전개되면서 고속 데이터 전송의 수요가 급증하고 있다. 디지털 신호의 고속 전송을 위해서는 디지털 통신의 성능을 저하시키는 주된 요인으로 알려진 심볼간 간섭(ISI: Intersymbol Interference)의 영향을 줄이는 방법에 대한 연구가 필수적이다. 이를 위한 방법으로서 집중적인 연구가 이루어지고 있는 적응 등화 방식이 있다. 그중에서도 상호 약정된 학습열을 이용하지 않고 수신 데이터만을 이용하는 적응 블라인드 등화 방식[1]-[7]에 대하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 적응 블라인드 등화 방식으로는 크게 두가지 부류로 나눌 수 있는데, 수신 신호의 고차 통계치를 이용하는 알고리즘 [8][9]과 Bussgang 계열의 알고리즘이다. 4차 cumulant나 tricepstrum과 같은 polyspectra 기법등과 같은 고차 통계치를 이용하는 알고리즘은 좋은 수렴 특성을 가지나 매우 복잡한 계산으로 인하여 실시간 처리에 제한을 가진다. 한편 Bussgang 계열의 알고리즘은 간단하고, 적은 계

산량이 요구되므로 매우 실용적이라 할 수 있다. 대표적으로 Sato 알고리즘[1], CMA (Constant Modulus Algorithm)[2], Stop-and-Go 알고리즘[5] 등이 있다. Sato 알고리즘은 축소 신호점(reduced constellation)으로 인하여 정상상태에서 오차 레벨이 크다는 단점이 있다. CMA 역시 유사한 이유로 해서 수렴후 잔류 오차가 남으며, 반송파 위상과는 독립적으로 등화를 수행하므로 채널 특성에 의해 위상 회전된 신호점에 수렴하게 된다. 최근 CMA 장점을 가지면서 심볼간 간섭과 불규칙 위상 회전을 동시에 복원시킬 수 있는 MCMA[10]가 발표 되기도 하였다. 그러나 MCMA 역시 새로운 축소 신호점을 설정하고, 그것을 원하는 신호점으로 간주함에 따라 완전한 등화가 이루어진 후에도 원래의 데이터 심볼점과 특별히 설정된 신호점과의 차이로 인한 오차가 불가피하다[11]. Pittchi와 Prati에 의해 제안된 Stop-and-Go 알고리즘은 위에서 기술한 정상 상태에서의 오차를 개선하는 효과는 있으나, 상대적으로 정상 상태로의 수렴 속도면에서 느려진다.

한편 Weerackody는 고리모양의 신뢰구간을 설정하여 Godard 알고리즘과 판정지향 알고리즘이 오차 레벨에 따라 자동 전환되는 이중모드 Godard 알고리즘을 제시하였으며[12], 오길남등은 신호를 실수성분과 허수성분으

* 南서울 産業大學校 情報通信工學科

** 慶熙大學校 電波工學科

접수일자: 1997년 7월 21일

로 분리하여 각각에 대한 특별한 결정영역을 두고, MCMA와 판정지향 알고리즘을 자동 전환하는 방식의 이중모드 MCMA를 발표하였다[11][13].

본 논문에서는 디지털 데이터의 고속 전송을 위하여 MCMA와 Stop-and-Go 알고리즘의 장점을 모두 수용하므로써 수렴 속도와 정상 상태에서의 오차 특성을 크게 개선한 이중모드 형태의 새로운 적응 블라인드 등화 알고리즘을 제안하고자 한다. 특별한 결정 영역을 정하여 동화기 출력이 결정 영역내에 있는가의 여부에 따라 자기 다른 등화 동작을 하도록 하였다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안한 알고리즘이 잔류 심볼간 간섭량과 수렴 속도면에서 기존의 적응 블라인드 등화 알고리즘에 비하여 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 Stop-and-Go 알고리즘에 대하여 간략하게 기술하고 3장에서는 변형된 Stop-and-Go 알고리즘과 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 대하여 설명한다. 4장에서는 컴퓨터 모의실험 결과를 제시하고, 제안한 알고리즘의 성능을 확인한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. Stop-and-Go 적응 블라인드 등화 알고리즘

Picchi와 Prati에 의해 제안된 Stop-and-Go 알고리즘은 판정지향(Decision-Directed) 알고리즘에 의한 추정 오차와 Sato 알고리즘에 의한 추정 오차의 부호가 일치하는가를 조사하여 탭 갱신 여부를 결정한다. 따라서 신뢰성 있는 추정 오차를 사용하므로써 판정지향 알고리즘이 왜곡이 심한 채널에서 수렴 할 수 있도록 하였다. 블라인드 채널 등화 시스템을 그림 1과 같이 구성하였을 때 Stop-and-Go 알고리즘의 탭 갱신 식은 다음과 같이 주어지며,

$$W(k+1) = W(k) - \mu \cdot e_{SG}(k) \cdot r^*(k) \tag{1}$$

여기서, $W(k) = [w_0(k), w_1(k), \dots, w_{N-1}(k)]^T$ 는 등화기의 탭 계수 벡터, $r(k) = [r_0(k), r_1(k-1), \dots, r_{N-1}(k)]^T$ 는 등화기 입력 데이터 벡터, N 은 등화기의 탭 길이이다. 뒀첨자 T 는 벡터의 전치(transpose)를 의미한다. μ 는 알고리즘의 수렴 속도를 결정하는 스텝 사이즈이며, 뒀첨자 $*$ 는 공액 복소수를 표시한다.

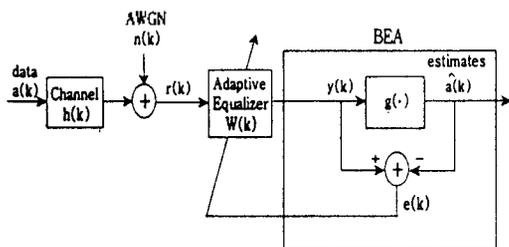


그림 1. 적응 블라인드 채널 등화 시스템의 기저 대역 모델

오차 신호 $e_{SG}(k)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$e_{SG}(k) = f_{SG,R} \cdot e_{DD,R}(k) + j f_{SG,I} \cdot e_{DD,I}(k) \tag{2}$$

식 (2)에서의 판정지향 오차 신호의 실수 및 허수 성분 $e_{DD,R}$ 과 $e_{DD,I}$ 은 식 (3)과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} e_{DD,R}(k) &= y_R(k) - \hat{a}_R(k) \\ e_{DD,I}(k) &= y_I(k) - \hat{a}_I(k) \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 $y_R(k)$, $y_I(k)$ 는 그림 1에서 나타낸 바와 같이 동화기 출력의 실수 및 허수 성분이며, \hat{a}_R 와 \hat{a}_I 는 결정최로에 의한 송신 데이터 심볼 $a(k)$ 의 추정값이다. $\hat{a}(k)$ 는 식 (4)와 같은 임계 함수의 식으로 주어지며, 이 임계 함수는 송신 신호 집합에서 가장 가까운 신호점을 찾는 양자화 함수를 의미한다.

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

식 (2)에서의 플래그 $f_{SG,R}$ 과 $f_{SG,I}$ 의 값을 결정하기 위하여 Stop-and-Go 알고리즘은 또다른 오차 함수로써 일반화된 Sato 오차 함수[3] $e_S(k)$ 를 이용하며, 그 실수와 허수 성분은 각각 식 (5)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} e_{S,R}(k) &= y_S(k) - \gamma \cdot sgn(y_{R}(k)) \\ e_{S,I}(k) &= y_I(k) - \gamma \cdot sgn(y_I(k)) \end{aligned} \tag{5}$$

이때 플래그 $f_{SG,R}$ 과 $f_{SG,I}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$f_{SG,R} = \begin{cases} 1 & \text{if } sgn(e_{DD,R}) = sgn(e_{S,R}) \\ 0 & \text{if } sgn(e_{DD,R}) \neq sgn(e_{S,R}) \end{cases} \tag{6}$$

$$f_{SG,I} = \begin{cases} 1 & \text{if } sgn(e_{DD,I}) = sgn(e_{S,I}) \\ 0 & \text{if } sgn(e_{DD,I}) \neq sgn(e_{S,I}) \end{cases}$$

Stop-and-Go 알고리즘에서의 실질적인 탭 갱신은 판정지향 알고리즘을 따르므로 정상 상태에서의 오차 레벨이 매우 작아지는 잇점이 있으나, 상대적으로 수렴 속도가 느려지는 문제를 안고 있다.

III. 제안된 이중모드 형태의 Stop-and-Go 적응 블라인드 알고리즘

3.1 변형된 Stop-and-Go 알고리즘

변형된 Stop-and-Go 알고리즘은 판정지향 알고리즘에 의한 추정 오차와 MCMA 알고리즘에 의한 추정 오차의 부호가 일치하는가를 조사하여 탭 갱신 여부를 결정한다. 그러나 이때 탭 갱신은 MCMA 알고리즘을 따르도록 하였다. 이는 MCMA가 Sato 알고리즘 및 Stop-and-Go 알

고리즘들과 비교하여 비교적 빠른 수렴 속도를 가진다는 점과 Stop-and-Go 알고리즘의 개념을 적용하므로써 보다 신뢰성 있는 추정 오차를 사용할 수 있다는 점, 그리고 Stop-and-Go 알고리즘과 같이 실수 성분과 허수성분으로 분리되어진 알고리즘이라는 데에 착안하였다. 변형된 Stop-and-Go 알고리즘의 탭 갱신 식은 다음과 같이 주어지며,

$$W(k+1) = W(k) - \mu \cdot e_{MSG}(k) \cdot r^*(k) \quad (7)$$

오차 신호 $e_{MSG}(k)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$e_{MSG}(k) = f_{MSG,R} \cdot e_{MCMA,R}(k) + j f_{MSG,I} \cdot e_{MCMA,I}(k) \quad (8)$$

여기서 플래그 $f_{MSG,R}$ 과 $f_{MSG,I}$ 의 결정을 위한 MCMA 오차 함수[10] $e_{MCMA}(k)$ 의 실수와 허수 성분은 식 (9)로 주어지며

$$\begin{aligned} e_{MCMA,R}(k) &= y_R(k) \cdot (|y_R(k)|^2 - R_{2,R}) \\ e_{MCMA,I}(k) &= y_I(k) \cdot (|y_I(k)|^2 - R_{2,I}) \end{aligned} \quad (9)$$

이때 플래그 $f_{MSG,R}$ 과 $f_{MSG,I}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} f_{MSG,R} &= \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,R}) = \text{sgn}(e_{MCMA,R}) \\ 0 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,R}) \neq \text{sgn}(e_{MCMA,R}) \end{cases} \\ f_{MSG,I} &= \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,I}) = \text{sgn}(e_{MCMA,I}) \\ 0 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,I}) \neq \text{sgn}(e_{MCMA,I}) \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

변형된 Stop-and-Go 알고리즘은 매우 빠른 수렴 속도를 가지는 반면에 정상 상태에서의 오차 레벨이 커지는 문제를 가지고 있다.

3.2 제안한 이중모드 형태의 Stop-and-Go 알고리즘

Stop-and-Go 알고리즘은 정상 상태에서 작은 레벨의 오차를 가진다는 장점이 있지만 상대적으로 수렴 속도가 느려진다. 뒷 절에서 설명한 변형된 Stop-and-Go 알고리즘은 매우 급속한 수렴 속도를 가지나 신호 레벨이 고차 가 될 수록 정상 상태에서의 오차 레벨 변동이 커지는 단점이 있다. 이러한 문제점들을 해결하고자 변형된 Stop-and-Go 알고리즘과 Stop-and-Go 알고리즘을 결합한 이중모드 형태의 Stop-and-Go 알고리즘을 제안한다.

제안한 이중모드 알고리즘은 그림 2에서 보이는 바와 같이 실수, 허수 성분 각각에 대한 신호점도(constellation diagram)상에 심볼점들을 중심으로 두 개의 결정 영역(decision region)을 둔다[11][13]. 이 두 결정 영역은 16-QAM의 실수 및 허수 성분 각각에 대해서 음영으로 표시한 영역 $D_{n,R}$, $D_{n,I}$ 와 음영으로 표시되지 않은 그외의 영역으로 구별된다. 제안한 이중모드 알고리즘은 등화기 출력

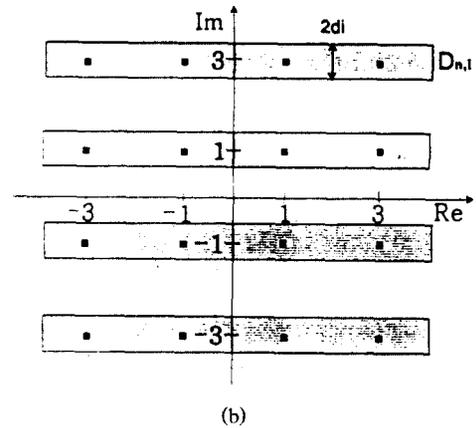
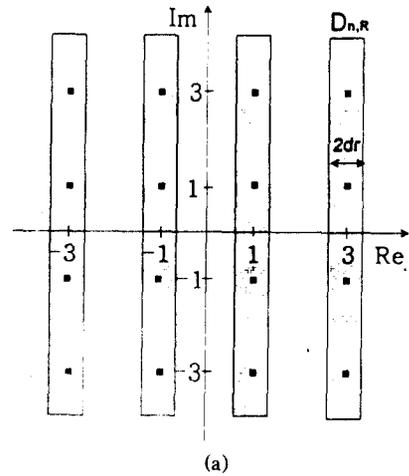


그림 2. 제안한 알고리즘의 16-QAM에 대한 결정 영역
(a) 실수 성분 (b) 허수 성분

이 결정 영역 $D_{n,R}$ 또는 $D_{n,I}$ 에 들어오면 Stop-and-Go 알고리즘의 오차 신호인 $e_{SG,R}$ 와 $e_{SG,I}$ 를 탭 갱신식에 사용하고, 결정 영역 $D_{n,R}$ 또는 $D_{n,I}$ 에 들어오지 않으면 변형된 Stop-and-Go 알고리즘의 오차 신호인 $e_{MSG,R}$ 와 $e_{MSG,I}$ 를 탭 갱신식에 사용한다. 따라서 등화기 출력 신호가 어느 결정 영역에 위치하는냐에 따라 두 알고리즘의 동작이 자동적으로 전환된다. 특히 눈(eye)이 열리기 시작하면, 이는 신호점도 상에서 볼 때 등화기 출력 신호가 음영으로 표시한 영역안으로 들어옴 확률이 훨씬 많아지므로 주로 Stop-and-Go 알고리즘이 동작하게 되고, 따라서 작은 오차 레벨을 가지는 정상상태로의 수렴을 얻을 수 있다. 그림 2-(a)와 (b)에서 d_r 과 d_i 는 결정 영역의 범위를 나타내는 파라미터이다. D 를 데이터 심볼점간의 최소 거리라 하면 눈이 열린 상태는 $|r(k)W(k) - a(k)| < D/2$ 로 표현된다. [14] 따라서 등화 모드 전환을 위한 결정 영역 범위를 나타내는 d_r , d_i 는 $D/2$ 보다 작게 정하여야 한다. 실험에 의하면 d_r , d_i 를 각각 0.5로 하였을 때 최적의 성능을 가지는 것으로 알려져 있다[11].

제한한 이중모드 알고리즘의 탭 갱신식은 다음과 같이 주어지며,

$$W(k+1) = W(k) - \mu \cdot e_{DSG}(k) \cdot r^*(k) \quad (11)$$

이때 오차 신호 $e_{DSG}(k)$ 는 아래의 식으로부터 얻어진다.

$$e_{DSG}(k) = e_{DSG, R}(k) + j e_{DSG, I}(k) \quad (12)$$

$$e_{DSG, R}(k) = \begin{cases} f_{MSG, R} \cdot e_{MCMA, R}(k) & \text{if } y_R(k) \in D_R \\ f_{SG, R} \cdot e_{DD, R}(k) & \text{if } y_R(k) \in D_R \end{cases} \quad (13)$$

$$e_{DSG, I}(k) = \begin{cases} f_{MSG, I} \cdot e_{MCMA, I}(k) & \text{if } y_I(k) \in D_I \\ f_{SG, I} \cdot e_{DD, I}(k) & \text{if } y_I(k) \in D_I \end{cases}$$

여기서 플래그 $f_{SG, R}$, $f_{SG, I}$ 와 $f_{MSG, R}$, $f_{MSG, I}$ 는 식 (6)과 식 (10)으로부터 각각 얻어진다.

IV. 컴퓨터 모의 실험 및 고찰

본 논문에서 적용한 적응 블라인드 동화 시스템의 저대역 모델은 그림 1과 같으며, 제한한 이중모드 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 16-QAM 및 64-QAM 신호에 대하여 CMA, MCMA 및 Stop-and-Go 알고리즘과 수렴 특성을 비교하였다. 모의실험은 아래와 같은 전달함수를 가지는 채널을 대상으로 하였다[5].

$$H(z) = (-0.005 - j0.004) + (0.009 + j0.03)z^{-1} + (-0.024 - j0.104)z^{-2} + (0.854 + j0.52)z^{-3} + (-0.218 + j0.273)z^{-4} + (0.049 - j0.074)z^{-5} + (-0.016 + j0.02)z^{-6} \quad (14)$$

동화기로는 트랜스버설(transversal) 필터 구조의 복소 동화기를 적용하였으며, 필터의 중심 탭은 $1 + j0$ 로, 중심 탭을 제외한 모든 탭은 $0 + j0$ 으로 초기화 하였다. 모의실험에서 d_r , $d_i = 0.5$ 로 설정하였다[11]. 제한한 알고리즘 성능을 평가하기 위하여 기존 알고리즘들과의 수렴 속도와 다음과 같이 정의되는 동화기 출력에서의 잔류 심볼간 간섭(residual intersymbol interference)[15]을 사용하였다.

$$ISI = \frac{\sum_k |s(k)|^2 - |s(k)|_{\max}^2}{|s(k)|_{\max}^2} \quad (14)$$

여기서 $s(k)$ 는 전체 시스템 임펄스 응답이며, 채널 임펄스 응답 $h(k)$ 와 동화기 임펄스 응답 $w(k)$ 와 컨볼루션 $s(k) = h(k) * w(k)$ 로 표현된다. $|s(k)|_{\max}$ 는 컨볼루션값중에서 최대 절대값을 가지는 성분을 나타낸다.

그림 3에서 MCMA, Stop-and-Go 알고리즘, 변형된 Stop-and-Go 알고리즘, 그리고 제한한 알고리즘의 오차 신호의 특성을 16-QAM에 대해서 각각 나타내었다. 오차 신호의 실수 성분과 허수 성분은 대칭이기 때문에 그림에서는 실수 성분만 고려하였다. 본 논문에서는 16-QAM에 대해서 $\gamma = 2.5$, $R_{p, 2} = 8.2$, 64-QAM에 대해서 $\gamma = 5.25$, $R_{p, 2} = 57.8$ 로 하였다. 그림 4-(a), (b), (c)에 Stop-and-Go 알고리즘, 변형된 Stop-and-Go 알고리즘, 그리고 제한한 알고리즘의 수렴 특성과 정상 상태에서의 오차 특성을 알아보기 위하여 16-QAM 신호에 대해 동화를 10회 수행하였을 때의 잔류 심볼간 간섭을 각각 나타내었다. 그림에서 보이듯이 Stop-and-Go 알고리즘의 정상 상태에서의 양호한 오차 특성과 변형된 Stop-and-Go 알고리즘의 급속한 수렴 특성, 그리고 제한한 이중모드 알고리즘이 이 두 알고리즘의 우수한 특성만을 모두 수용할 수

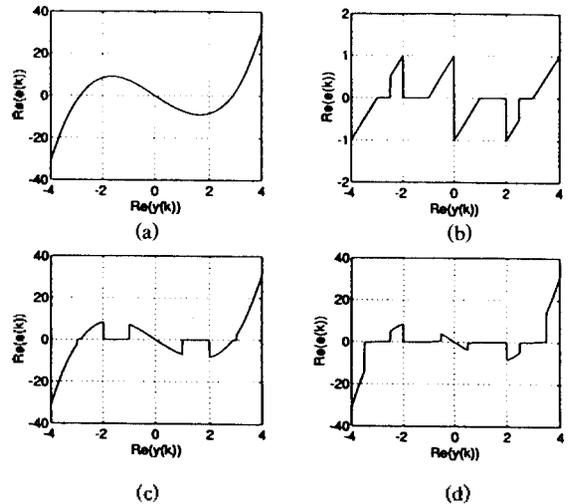


그림 3. 16-QAM에 대한 오차 신호의 특성
(a) MCMA (b) Stop-and-Go 알고리즘
(c) 변형된 Stop-and-Go 알고리즘 (d) 제한한 알고리즘

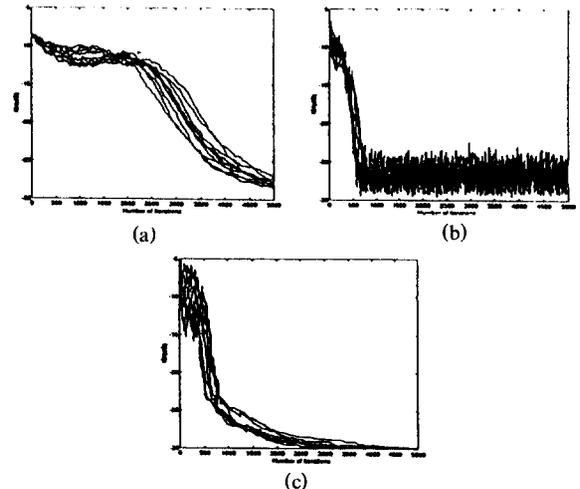


그림 4. 16-QAM에 대한 잔류 심볼간 간섭
(a) Stop-and-Go 알고리즘
(b) 변형된 Stop-and-Go 알고리즘 (c) 제한한 알고리즘

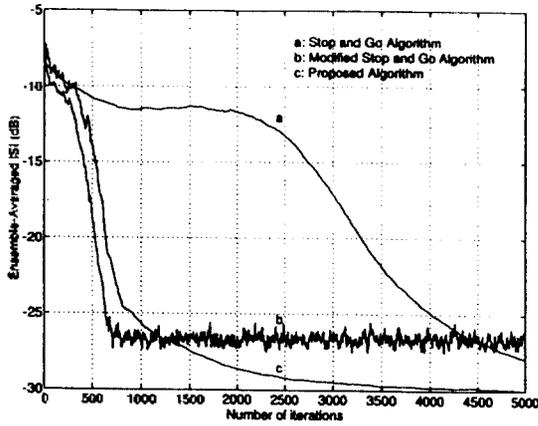


그림 5. 16-QAM에 대한 잔류 심볼간 간섭 비교

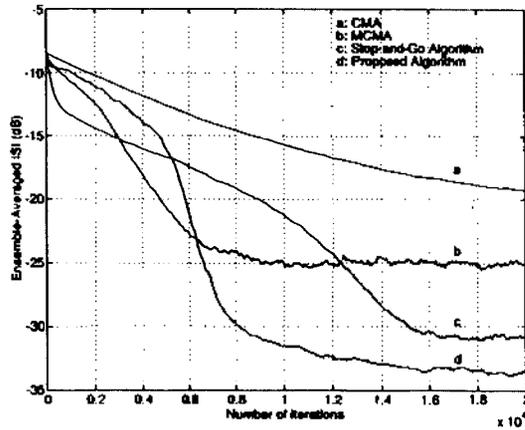


그림 6. 64-QAM에 대한 잔류 심볼간 간섭 비교

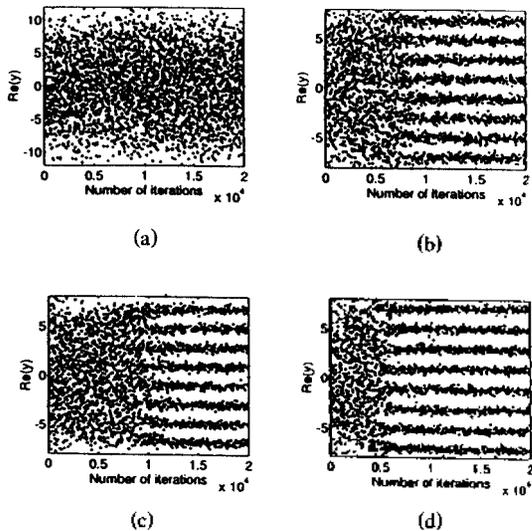


그림 7. 64-QAM에 대한 신호점 형성 과정
(a)CMA (b)MCMA (c)Stop-and-Go 알고리즘
(d)제안한 알고리즘

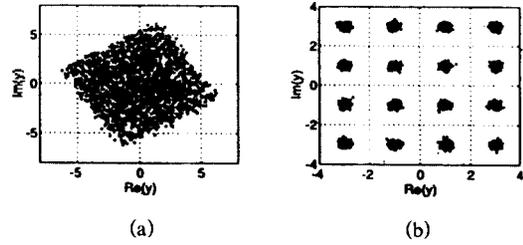


그림 8. 제안한 알고리즘의 16-QAM에 대한 동화전, 후의 신호점
(a) 동화전 (b) 동화후

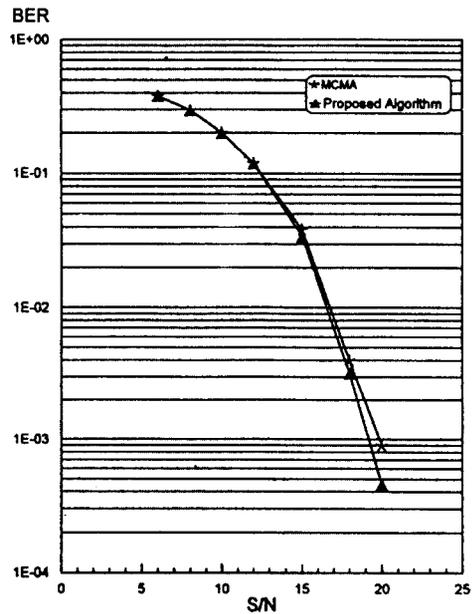


그림 9. 16-QAM에 대한 BER 성능 비교

있다. 그림 5에서는 16-QAM 신호에 대해 20회의 Monte Carlo 수행을 통해 얻은 잔류 심볼간 간섭을 dB로 나타내었다. 이때 SNR = 30dB로 하였으며, 동화기 차수는 7로 하였다. 모의실험을 통하여 Stop-and-Go 알고리즘에서 $\mu = 4.0 \times 10^{-4}$, 변형된 Stop-and-Go 알고리즘에서 $\mu = 1.0 \times 10^{-3}$, 그리고 제안한 이중모드 알고리즘에서는 결정 영역 밖에서 동작할 때 $\mu = 3.0 \times 10^{-4}$, 결정 영역 내에서 동작할 때 $\mu = 4.0 \times 10^{-4}$ 로 하였다. 이때 μ 값은 가능한 한 빠른 수렴 속도와 작은 잔류 심볼간 간섭을 가지는 것을 절충하여 택하였다.

그림 5로부터 제안한 이중모드 알고리즘의 정상 상태의 수렴 속도는 잔류 심볼간 간섭량 -25dB를 기준으로 하였을 때 Stop-and-Go 알고리즘에 비하여 4배 정도 빠르며, 잔류 심볼간 간섭량도 2.5dB 향상됨을 알 수 있다.

그림 6에서는 64-QAM 신호에 대해 SNR = 30dB 조건에서 100회의 Monte Carlo 수행을 통해 얻은 잔류 심볼간 간섭을 dB로 나타내었다. 이때 동화기 차수는 15로 하였다. 모의실험을 통하여 CMA에서 $\mu = 2.0 \times 10^{-7}$, MCMA

에서 $\mu = 8.0 \times 10^{-7}$, Stop-and-Go 알고리즘에서 $\mu = 7.0 \times 10^{-5}$, 그리고 제안한 이중모드 알고리즘에서는 결정 영역 밖에서 동작할 때 $\mu = 5.0 \times 10^{-6}$, 결정 영역 내에서 동작할 때 $\mu = 1.0 \times 10^{-6}$ 로 하였다. 그림 6으로부터 잔류 심볼간 간섭면에서 제안한 이중모드 알고리즘이 MCMA보다 약 14dB, MCMA보다 약 8dB, 그리고 Stop-and-Go 알고리즘보다 약 2.5dB 정도 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다. 또한 수렴 속도 면에서는 제안한 알고리즘이 MCMA와 유사한 수렴 속도를 나타내며, Stop-and-Go 알고리즘에 비하여 2배 정도 빠름을 알 수 있다. 그림 6에서 보이듯이 제안한 알고리즘이 64-QAM 신호와 같은 고차 QAM 신호에서도 기존의 알고리즘과 비교하여 빠른 수렴 속도와 정상 상태에서의 작은 오차 레벨을 동시에 가짐을 확인하였다. 그림 7-(a), (b), (c), (d)에서는 64-QAM에 대한 MCMA, MCMA, Stop-and-Go 알고리즘, 그리고 제안한 알고리즘의 등화가 진행되면서 일어나는 신호집형성 과정을 보기 위하여 앞에서와 같은 모의실험 조건에서 등화기 출력의 실수 성분을 각각 나타내었다. 그림에서 나타내듯이 MCMA의 경우 위상과는 무관하게 등화를 수행하므로써 신호점을 형성하기는 하나 위상 왜곡을 가지는 채널에서의 등화 후 신호점은 위상 회전된 모습을 가지므로 실수 성분만을 나타냈을 때는 신호집을 구분할 수 없는 모습을 나타낸다. MCMA의 경우 7,000 points 근방에서 신호점이 구분되기 시작하여 9,000 points 근방에서 신호점이 완전히 구분이 되어 정상 상태를 유지하는 반면에, Stop-and-Go 알고리즘은 10,000 points 근방에서 신호점이 구분되기 시작하여 12,000 points 근방에서 신호점이 완전히 구분이 되어 정상 상태를 유지한다. 한편 제안한 알고리즘에서는 5,000 points 정도에서 신호점이 구분되기 시작하여 6,200 points 근방에서 신호점이 완전히 구분이 되어 정상 상태를 유지하는 모습을 보이고 있다. 그림 8-(a), (b)는 제안한 알고리즘에 대한 16-QAM의 등화전 신호점과 등화후 신호점을 보인다. 그림 9에서는 16-QAM에 대해서 MCMA와 제안한 알고리즘의 BER(bit error rate) 성능을 보인다. S/N 비가 15dB까지는 유사한 BER 성능을 보이다가, 이후 S/N 비가 높아 질수록 MCMA에 비하여 좋은 BER 성능을 보임을 알 수 있다. BER은 정상 상태로의 수렴 이후, 즉 MCMA는 6000 points 이후 그리고 제안한 이중모드 알고리즘은 2500 points 이후부터 측정하였다. 결과적으로 수렴 속도에 있어서도 기존의 알고리즘에 비하여 제안한 알고리즘이 빠름을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문은 디지털 데이터의 고속 전송을 위하여 보다 빠른 수렴 속도를 가지면서도 정상 상태에서의 오차 레벨이 적은 이중모드 형태의 Stop-and-Go 적응 블라인드 등

화 알고리즘을 제안하였다. 제안한 이중모드 알고리즘은 변형된 Stop-and-Go 알고리즘의 빠른 수렴 속도와 Stop-and-Go 알고리즘의 정상 상태에서의 양호한 오차 특성이 모두 수용되도록 하였다. 수렴 정도를 감출할 필요 없이 등화기 출력의 오차 레벨에 따라 두 동작 모드가 자동 전환될 수 있도록 특별한 결정 영역을 설정하였다.

컴퓨터 모의실험 결과, 제안한 알고리즘은 64-QAM의 경우 정상 상태로의 수렴 속도면에서 Stop-and-Go 알고리즘보다 2배 정도 더 빨랐으며, 정상 상태에서의 잔류 심볼간 간섭량의 비교에 있어서도 64-QAM의 경우 MCMA, MCMA, Stop-and-Go 알고리즘보다 2.5dB-14dB 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 따라서 제안한 이중모드 알고리즘이 기존의 적응 블라인드 등화 알고리즘들과 비교하여 수렴 속도와 잔류 심볼간 간섭량 측면에서 모두 우수한 성능을 가짐을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. Y. Sato, "A Method of Self-Recovering Equalization for Multilevel Amplitude-Modulation System," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-23, pp. 679-682, Jun. 1975.
2. D.N. Golard "Self-Recovering Equalization and Carrier Tracking in Two-Dimensional Data Communication Systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28, no. 11, pp. 1867-1875, Nov. 1980.
3. A. Benveniste and M. Goursat, "Blind Equalizers," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-32, no. 8, pp. 871-883, Aug. 1984.
4. J.R. Treichler and M.G. Larimore, "New Processing Techniques Based on the Constant Modulus Algorithm," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-33, pp. 420-431, Apr. 1985.
5. G. Picchi and G. Prati, "Blind Equalization and Carrier Recovery Using a "Stop-and-Go" Decision-Directed Algorithm," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-35, no. 9, pp. 877-887, Sep. 1987.
6. F.J. Ross and D.P. Taylor, "An Enhancement to Blind Equalization Algorithms," *IEEE Trans Commun.*, vol. COM-39, no. 5, pp. 636-639, May. 1991.
7. N.K. Jablon, "Joint Blind Equalization, Carrier Recovery, and Timing Recovery for High-Order QAM Signal Constellations," *IEEE Trrans. Signal Processing*, vol. SP-40, pp. 1383-1389, June 1992.
8. D. Hatzinakos and C.L. Nikias, "Blind equalization using a tricepstrum-based algorithm," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-39, pp. 669-681, May. 1991.
9. F. Zheng et. al. "Blind Equalization of Nonminimum Phase Channels: Higher Order Cumulant Based Algorithm," *IEEE Trans. Spech. Signal Processing*, vol. 41, no. 2, pp. 681-691, Feb. 1993.
10. 오길남, 진용욱, "Constant Modulus Algorithm을 변형한 자기적용 채널 등화 알고리즘," 한국통신학회 논문지, 제

20 권, 제 1 호, pp. 88-97, 1995. 1.

- 11. 오길남, "다중경로 채널에서의 QAM 신호에 대한 블라인드 등화 기법에 관한 연구," 경희대학교 대학원 전자공학과 박사 학위 논문, 1995.
- 12. V. Weerackody, S.A. Kassam, "Dual-Mode Type Alaysis of an Algorithm for Blind Equalization," *IEEE Trans. Commun*, vol. COM-42, pp. 22-28, Jan 1994.
- 13. 오길남, 진용옥, "반송파 위상 복원을 결합한 새로운 이중모드 블라인드 등화 알고리즘," 전자공학회 논문지, 제 32 권, A편, 제5호, pp. 14-23, 1995. 5.
- 14. O. Macchi and E. Eweda, "Convergence Analysis of Self-Adaptive Equalizers," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-30, pp. 161-176, Mar. 1984.
- 15. O. Shalvi and E. Weinstein, "New Criteria for Blind Deconvolution of Nonminimum Phase Systems(Channels)," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-36, pp. 312-321, Mar. 1990.

▲정 영 화(Young Hwa Jeong)

1961년 8월 3일생



1984년 2월:경희대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년 2월:경희대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1992년 3월~1998년 2월:경희대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1986년 1월~1994년 8월:삼성전자 기흥 통신연구소 근무(선임연구원)

1994년 9월~현재:남서울산업대학교 정보통신공학과 조교수

※주관심분야:디지털 전송, 이동 데이터통신, 디지털 신호처리

▲진 용 옥(Yong Ohk Chin)

현재:경희대학교 전자공학과 교수

한국음향학회지 Vol. 12, No. 2 참조