

Stop-and-Go 플래그를 가지는 새로운 블라인드 등화 알고리즘

정영화**

목 차

- I. 서론
- II. 블라인드 등화 시스템
- III. 블라인드 등화 알고리즘
- IV. 제안된 알고리즘: SAG-Flagged MMA
- V. 컴퓨터 모의실험 및 고찰
- VI. 결 론
- 참고문헌
- Abstract

I. 서론

등화 방식은 수신측에서 데이터를 수신한 후 기준 학습 신호와 비교하여 통신 채널의 특성을 추정하고, 그에 대한 역 특성을 가지는 디지털 필터를 통과시킴으로서 통신 채널에서 발생하는 심볼간 간섭과 불규칙 위상 회전의 영향을 제거한다. 특히 무선통신에서와 같이 채널이 시간에 따라 변하는 경우 매 순간마다 필터의 탭 계수를 갱신하는 방식을 적응 등화 방식이라 하며, 역 특성을 얻기 위해 상호 약정된 학습열을 이용하지 않고 수신 데이터만을 이용하는 등화 방식을 특별히 블라인드 등화 방식[1-5]이라 부른다. 적응 블라인드 등화는 학습 신호 대신 송신된 신호

의 통계적 특성과 수신 신호만을 이용한 비용 함수(cost function)를 최적화시킨다는 점과 임계 결정기(threshold decision device) 대신 비선형 추정기(nonlinear estimator)를 사용하여 오차를 추정한다는 점이 데이터 의존(data-aided) 등화와의 커다란 차이점이라 할 수 있다. 따라서 적응 블라인드 등화 방식은 어떤 비선형 추정기를 사용하느냐, 즉 어떤 오차 신호를 탭 갱신 식에 사용하느냐에 따라 그 성능이 달라진다고 할 수 있다.

적응 블라인드 등화는 크게 수신 신호의 고차 통계치(HOS:High Order Statistics)를 이용하는 알고리즘[6][7]과 Bussgang 계열의 알고리즘, 두 부류로 나눌 수 있다. 전자의 경우 심볼간 간섭과 위상 회전의 동시 복원이 가능하지만 고차 통계 연산에 따른 많은 계산량을 필요로 하므로 고속 전송을 위한 등화기로서는 문제점을 가진다. 후자의 경우 심볼간 간섭과 위상 회전에 대한 동

* 이 연구는 2006년도 남서울대학교 교비연구비 지원에 의하여 연구되었음.

** 남서울대학교 정보통신공학과 부교수

시 복원은 불가능하지만 연산량이 적으므로 시스템 구현이 용이하다는 장점을 갖는다. 대표적으로 Sato 알고리즘[1], CMA (Constant Modulus Algorithm)[2] 등이 이 부류에 속한다.

QAM이나 CAP 과 같은 2차원 변조 시스템에 가장 잘 알려진 CMA는 신뢰성 있는 수렴을 가지나 수렴 후 잔류 오차가 매우 크다는 단점과 등화기 출력단에 위상 보정을 위한 위상회전기가 필요하다는 점에서 수신기 구현에 복잡성을 가진다. 이러한 CMA에 대한 성능을 개선하기 위해 그동안 많은 연구가 이루어져 왔으며, 특히 심볼간 간섭과 불규칙 위상 회전을 동시에 복원시킬 수 있는 MCMA[8], MMA[9]등이 발표되기도 하였다. 그러나 MCMA나 MMA는 진폭과 위상 등화가 동시에 이루어지고 양호한 수렴 특성을 가지는 등의 우수한 성능에도 불구하고 CMA에서와 같은 특별한 축소 신호점의 설정으로 인하여 완전한 등화가 이루어진 후에도 여전히 정상상태에서의 잔류 오차 레벨이 크다는 단점을 가지고 있다[10]. 이러한 문제를 해결하기 위해 이중모드 방식[11-13]등의 다양한 등화 방식들이 제안되었다.

한편 큰 잔류 오차 문제를 해결하기 위한 다른 개념의 개선된 블라인드 등화 알고리즘인 Stop-and-Go 알고리즘이 Picchi와 Prati[5]에 의하여 제안되었다. 이 알고리즘은 매우 뛰어난 잔류 오차 특성을 가지나 수렴 속도에 있어서는 다른 알고리즘에 비하여 단점이라 할 만큼 느리다.

본 논문에서는 CMA 와 MMA 알고리즘의 수렴 속도 면에서의 장점을 살리면서 좋은 잔류 오차 특성을 가지는 새로운 적응 블라인드 등화 알고리즘을 제안하고자 한다. 일반화된 Sato 알고리즘과 결정지향 알고리즘의 추정 오차 부호에 대한 일치 여부를 비교한 Stop-and-Go 알고리즘을 통해 얻어진, 탭 갱신 여부를 결정하는, 플래그(flag)를 MMA에 적용하여 탭 갱신 식이 flagged

MMA에 따르도록 하는 Stop-and-Go 플래그를 가지는 새로운 블라인드 등화 알고리즘인 SAG-Flagged MMA를 제안한다. 제안한 알고리즘은 수렴 속도가 빠른 MMA 알고리즘을 이용하되, 보다 신뢰성 있는 추정 오차를 탭 갱신에 사용함으로써 MMA보다 더욱 빠른 수렴속도를 가지도록 하고, MMA에서의 취약점인 정상상태에서의 잔류 오차 특성을 크게 향상 시키도록 고안되었다.

본 논문의 구성은 2장에서 일반적인 적응 블라인드 등화 시스템을 채용한 디지털 기저 대역 모델을 기술하고 3장에 기존의 블라인드 등화 알고리즘들을 기술한다. 4장에 제안한 알고리즘을 설명하고, 5장에서는 컴퓨터 모의실험 결과를 통하여 기존 알고리즘과 제안한 알고리즘의 성능을 비교, 분석한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 블라인드 등화 시스템

본 논문에서 고려한 블라인드 채널 등화 시스템의 기저대역 모델은 (그림 1)과 같으며 수신된 신호는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$x(n) = \sum_{i=0}^{N-1} h(i)a(n-i) + \nu(n) \quad (1)$$

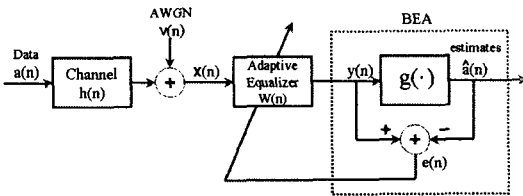
여기서 $h(i)$ 는 채널 임펄스 응답이며, 임펄스 응답의 길이는 N 이다. 송신 데이터 심볼 $a(n)$ 는 i.i.d(independent identically distribution)를 만족하는 평균 $E[a(n)] = 0$ 인 랜덤 변수로 가정한다. 또한 $a(n)$ 는 복소 신호열로서 정의한다. 부가 잡음 $\nu(n)$ 는 평균 $E[\nu(n)] = 0$ 이고, 분산이 $E[|\nu(n)|] = \sigma_n^2$ 인 가우시안 잡음으로서 송신 데이터 심볼과는 통계적으로 독립인

AWGN이라고 가정한다. 등화기로는 선형 복소 트랜스버설 필터를 고려한다.

등화기의 탭 계수 벡터를 $\mathbf{W}(n)$ 라 하면, 등화기 출력 $y(n)$ 는

$$y(n) = y_R(n) + jy_I(n) = \mathbf{x}^T(n) \mathbf{W}(n) \quad (2)$$

가 된다. 여기서, $\mathbf{W}(n) = [w_0(n), w_1(n), \dots, w_{N-1}(n)]^T$ 는 등화기의 탭 계수 벡터, $\mathbf{x}(n) = [x_0(n), x_1(n), \dots, x_{N-1}(n)]^T$ 는 등화기 입력 데이터 벡터, N 은 등화기의 탭 계수 길이이다. 위 첨자 T 는 벡터의 전치를 의미한다. $g(\cdot)$ 는 비선형 결정기를 나타낸다.



(그림 1) 블라인드 채널 등화 시스템의 기저대역 모델

III. 블라인드 등화 알고리즘

3.1. 결정지향 알고리즘(Decision-Directed Algorithm)

결정지향 알고리즘의 비용함수는 식 (1)과 같이 정의한다.

$$J(n) = E[|y(n) - \hat{a}(n)|] \quad (1)$$

여기서 $E[\cdot]$ 는 통계적 기대치이며, $a(n)$ 는 송신 데이터 심볼, $\hat{a}(n)$ 는 결정회로에 의한 송신 데이터 심볼의 추정 값이다. $\hat{a}(n)$ 는 아래와 같은 임계함수의 식 (2)로 주어지며, 이 임계함수는 송신 신호 집합에서 가장 가까운 신호 점을 찾는 양자화 함수를 말한다.

$$\hat{a}(n) = \text{dec}(y(n)) = |\hat{a}(n)| \text{sgn}(y(n)) \quad (2)$$

$\text{sgn}(\cdot)$ 는 signum 함수로서 다음과 같이 정의된다.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } x \geq 0 \\ -1 & \text{if } x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

추정 오차 $e_{DD}(n)$ 는 식 (4)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} e_{DD,R}(k) &= \hat{a}_R(n) - y_R(n) \\ e_{DD,I}(k) &= \hat{a}_I(n) - y_I(n) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $y_R(n), y_I(n)$ 는 등화기 출력의 실수 및 허수 성분이며, \hat{a}_R 와 \hat{a}_I 는 결정회로에 의한 송신 데이터 심볼 $a(n)$ 의 추정 값이다.

따라서 결정지향 알고리즘의 필터 탭 계수 갱신 식은 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{W}(n+1) &= \mathbf{W}(n) - \alpha(e_{DD,R}(n) \\ &+ je_{DD,I}(n)) \mathbf{x}^*(n) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 α 는 알고리즘의 수렴 속도를 결정하

는 스텝 크기이며, 윗첨자 *는 공액 복소수를 표시한다.

3.2. MMA(Multimodulus Algorithm)

MMA는 J. Yang[9]등에 의해 제안되었다. MMA는 RCA[3]와 CMA[2]의 장점을 결합한 알고리즘으로서 신뢰성 있는 수렴속도와 정상상태에서의 위상회전기를 필요치 않는 장점을 가진다. 또한 MMA는 다양한 형태의 신호점들에 대한 심볼 통계를 이용하는데 매우 적합한 유연성을 가진 알고리즘으로 알려져 있다.

MMA의 비용함수는 식 (6)과 같이 주어진다.

$$J_{MMA} = E[(|y_I(n)|^L - R_{MMA}^L)^2 + (|y_Q(n)|^L - R_{MMA}^L)^2] \quad (6)$$

여기서 R_{MMA}^L 는 각각 다음 식과 같다

$$R_{MMA}^L = \frac{E[|a_{n,I}|^{2L}]}{E[|a_{n,I}|^L]} = \frac{E[|a_{n,Q}|^{2L}]}{E[|a_{n,Q}|^L]} \quad (7)$$

$L=2$ 로 하였을 때, MMA 오차 함수 $e_{MMA}(n)$ 의 In-Phase와 Quadrature 성분은 식 (8)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} e_{MMA,I}(n) &= (y_I^2(n) - R_{MMA}^2) y_I(n) \\ e_{MMA,Q}(n) &= (y_Q^2(n) - R_{MMA}^2) y_Q(n) \end{aligned} \quad (8)$$

이때 R_{MMA}^2 는 다음 식에 의하여 구해질 수 있다.

$$\begin{aligned} R_{MMA}^2 &= \frac{E[|a_{n,I}|^4]}{E[|a_{n,I}|^2]} = \frac{E[|a_{n,Q}|^4]}{E[|a_{n,Q}|^2]} \\ &= (12m^2 - 7)/5 \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $m = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7, \dots, (2m-1)$ 이다.

MMA의 탭 갱신 알고리즘은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \mathbf{W}_I(n+1) &= \mathbf{W}_I(n) - \alpha e_{MMA,I}(n) \mathbf{x}^*(n) \\ \mathbf{W}_Q(n+1) &= \mathbf{W}_Q(n) - \alpha e_{MMA,Q}(n) \mathbf{x}^*(n) \end{aligned} \quad (10)$$

3.3. Stop-and-Go 알고리즘

Picchi와 Prati에 의해 제안된 Stop-and-Go 알고리즘은 결정지향 알고리즘에 의한 추정 오차와 일반화된 Sato 알고리즘에 의한 추정 오차의 부호가 일치하는가를 조사하여 탭 갱신 여부를 결정한다. 따라서 신뢰성 있는 추정 오차를 사용함으로써 결정지향 알고리즘이 왜곡이 심한 채널에서 수렴 할 수 있도록 하였다.

Stop-and-Go 알고리즘의 탭 갱신 식은 식 (11)과 같이 주어지며,

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) - \alpha e_{SAG}(n) \mathbf{x}^*(n) \quad (11)$$

오차 신호 $e_{SAG}(n)$ 는 식 (12)와 같이 주어진다.

$$e_{SAG}(n) = f_{SAG,R} \cdot e_{DD,R}(n) + jf_{SAG,I} \cdot e_{DD,I}(n) \quad (12)$$

식 (12)에서의 결정지향 오차 신호의 실수 및 허수 성분 $e_{DD,R}(n)$ 과 $e_{DD,I}(n)$ 은 식 (4)에서 주어진다.

식 (7)에서의 플래그 $f_{SAG,R}$ 과 $f_{SAG,I}$ 의 값을 결정하기 위하여 Stop-and-Go 알고리즘은 오차 함수로서 일반화된 Sato 오차 함수 $e_{GSA}(n)$ 를 이용하며, 그 실수와 허수 성분은 각각 아래와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} e_{GSA,R}(n) &= y_R(n) - \gamma \text{sgn}(y_R(n)) \\ e_{GSA,I}(n) &= y_I(n) - \gamma \text{sgn}(y_I(n)) \end{aligned} \quad (13)$$

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

$$\begin{aligned} f_{SAG,R} &= \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,R}) = \text{sgn}(e_{GSA,R}) \\ 0 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,R}) \neq \text{sgn}(e_{GSA,R}) \end{cases} \\ f_{SAG,I} &= \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,I}) = \text{sgn}(e_{GSA,I}) \\ 0 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,I}) \neq \text{sgn}(e_{GSA,I}) \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

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

IV. 제안된 알고리즘 : SAG-Flagged MMA

본 논문에서는 일반화된 Sato 알고리즘과 결

정지향 알고리즘을 이용한 Stop-and-Go 알고리즘을 적용하여 추정 오차의 부호가 일치하는가를 조사한 후 탭 갱신 여부를 결정하는 플래그를 구하고, 그렇게 구해진 Stop-and-Go 플래그를 MMA에 적용하여 탭 갱신 식이 flagged MMA에 따르도록 하는 Stop-and-Go 플래그를 가지는 새로운 블라인드 등화 알고리즘으로서 SAG-Flagged MMA를 제안한다. 제안한 알고리즘은 수렴 속도가 빠른 MMA 알고리즘을 이용하되, 보다 신뢰성 있는 추정 오차를 탭 갱신에 사용함으로써 MMA보다 더욱 빠른 수렴속도를 가지도록 하고, MMA에서의 취약점인 정상상태에서의 오차 특성을 크게 향상 시키도록 고안되었다.

제안한 알고리즘의 탭 갱신 식은 식 (15)와 같이 주어지며,

$$\begin{aligned} \mathbf{W}(n+1) &= \mathbf{W}(n) - a e \\ &SAGF-MMA(n) \mathbf{x}^*(n) \end{aligned} \quad (15)$$

오차 신호 $e_{GSAGF-MMA}(n)$ 는 식 (16)로 주어진다.

$$\begin{aligned} e_{SAGF-MMA}(n) &= f_{SAG,R} \cdot e_{MMA,R}(n) \\ &+ jf_{SAG,I} \cdot e_{MMA,I}(n) \end{aligned} \quad (16)$$

(16)에서의 플래그 $f_{SAG,R}$ 과 $f_{SAG,I}$ 는 다음과 같이 정의된다.

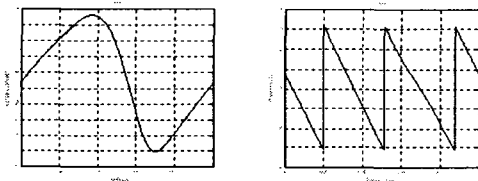
$$f_{SAG,R} = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,R}) = \text{sgn}(e_{GSA,R}) \\ 0 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,R}) \neq \text{sgn}(e_{GSA,R}) \end{cases} \quad (17)$$

$$f_{SAG,I} = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,I}) = \text{sgn}(e_{GSA,I}) \\ 0 & \text{if } \text{sgn}(e_{DD,I}) \neq \text{sgn}(e_{GSA,I}) \end{cases} \quad (18)$$

여기서 $e_{MMA}(n)$ 는 MMA 오차 함수를 나타내며, 식 (8)과 같다.

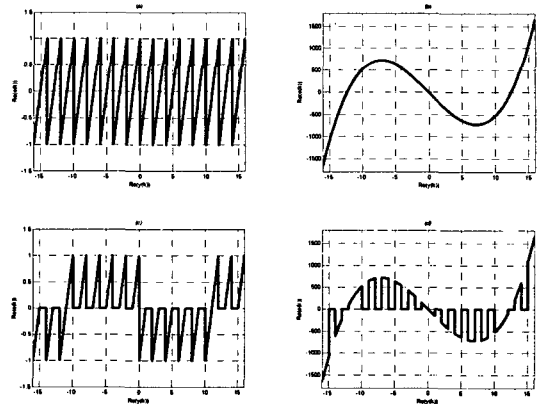
V. 컴퓨터 모의실험 및 고찰

제안한 알고리즘의 잔류 심볼간 간섭 및 수렴 속도를 평가하기 위해 컴퓨터 모의실험을 통해 성능을 검증하였다. 모의실험에서 사용한 채널의 전달함수는 [5]에서 사용된 채널을 이용하였으며, 그 채널에 대한 주파수 응답을 그림 2에서 나타내었다. 그림 2-(a)는 채널의 진폭 스펙트럼이고 그림 2-(b)는 채널의 위상 스펙트럼이다.

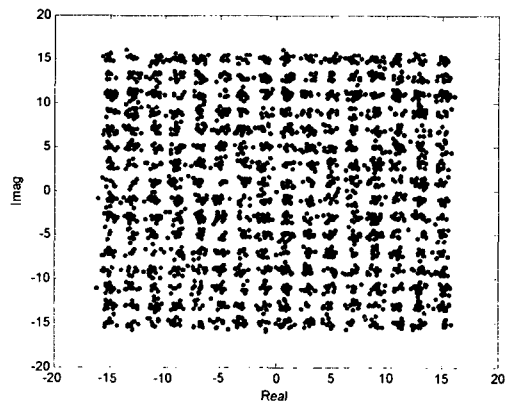
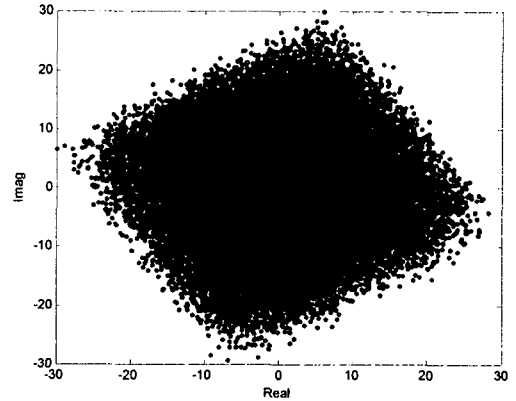


(그림 2) 채널 주파수 응답 (a) 진폭 스펙트럼 (b) 위상스펙트럼

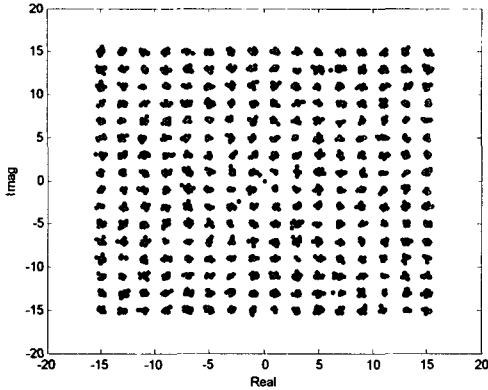
등화기로는 64-QAM 시스템의 경우 9차, 256-QAM 시스템의 경우 15차의 탭 길이를 가지는 트랜스버설 필터 구조의 복소 등화기를 적용하였다. 모든 등화기의 중심 탭은 $1 + j0$ 로, 중심 탭을 제외한 모든 탭은 $0 + j0$ 으로 초기화하였다[14]. 모의실험은 64-QAM 신호와 256-QAM 신호를 대상으로 하였다. 그림 3에서는 결정지향 알고리즘, MMA, Stop-and-Go, 그리고 제안한 알고리즘의 오차 신호를 256-QAM 시스템에 대해서 각각 나타내었다. 오차신호의 실수 성분과 허수 성분은 대칭이기 때문에 그림에서는 실수 성분만 고려하였다.



(그림 3) 각 알고리즘에 따른 256-QAM에 대한 오차 신호의 특성
(a) 결정지향 알고리즘 (b) MMA
(c) Stop-and-Go 알고리즘 (d) 제안한 알고리즘



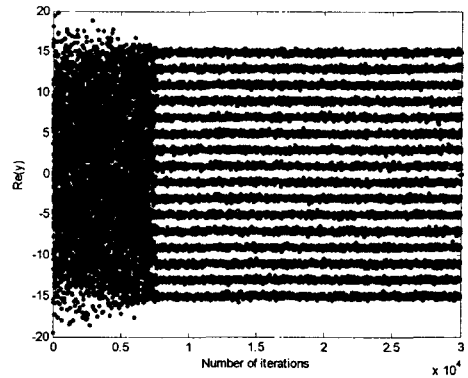
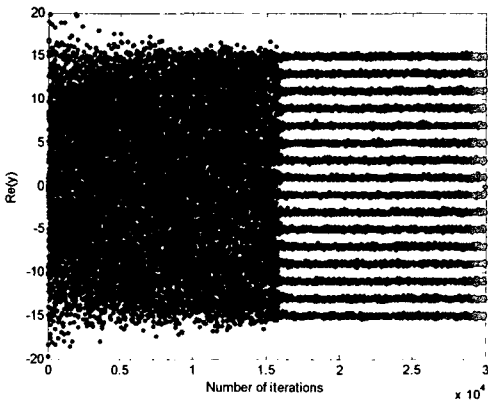
(b)



(c)

(그림 4) 256-QAM 신호에 대한 정상도
(a) 등화전 (b) MMA (d) 제안한 알고리즘

그림 4에서 256-QAM 신호에 대해서 채널을 통과했을 때 등화전과 등화 후의 신호점을 보인다. 그림 4-(a)는 등화전의 신호점이고, 그림 4-(b)는 MMA의 경우이며, 그림 4-(c)는 제안한 알고리즘의 경우이다. 이들은 각각 SNR=40dB의 조건에서 30,000번 수행 이후의 3,000 데이터를 나타내었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 제안한 알고리즘이 MMA 보다 뚜렷히 구분되는 신호점을 형성함을 알 수 있다.



(그림 5) 256-QAM 신호에 대한
신호점 형성 과정

(a) Stop_and_Go 알고리즘 (b) 제안한 알고리즘

그림 5-(a)와 5-(b)에서는 Stop-and-Go 알고리즘과 제안한 알고리즘의 신호점 형성 과정을 각각 나타내었다. 그림에서 보듯이 Stop-and-Go 알고리즘의 경우 16,000 반복횟수 근방에서 활짝 열리며 신호점들이 서로 완전히 구분되어 정상상태를 유지되는 반면에, 제안한 알고리즘은 7,500 반복횟수 근방에서 신호점이 활짝 열리면서 정상상태를 유지하는 모습을 보이고 있다.

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 기존 알고리즘들과의 수렴 속도와 잔류 심볼간 간섭값을 비교하였다. 성능 평가 파라미터로는 다음과 같이 정의되는 등화기 출력에서의 잔류 심볼간 간섭[15]을 사용하였다.

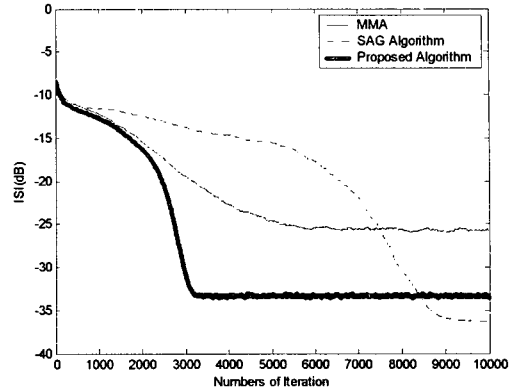
$$ISI = \frac{\sum_n |s(n)| - |s(n)|_{\max}^2}{|s(n)|_{\max}^2} \quad (19)$$

여기서 $s(n)$ 는 전체 시스템 임펄스 응답이며, 채널 임펄스 응답 $h(n)$ 와 등화기 임펄스 응답 $W(n)$ 의 컨볼루션 $s(n) = h(n) * W(n)$ 로

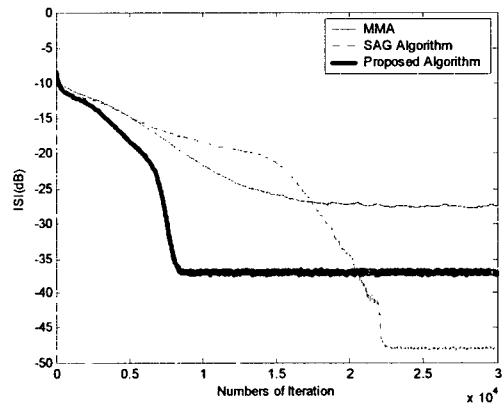
표현된다. $|s(n)|_{\max}$ 는 콘볼루션 값 중에서 최대 절대값을 가지는 성분을 나타낸다. 잔류 심볼간 간섭은 등화기가 채널에 대한 역(inverse) 채널 임펄스 응답에 얼마나 근사되었는가를 정량적으로 나타내는 블라인드 등화기의 성능 평가 척도로 널리 이용되고 있으며, 완전 등화에 이르면 $ISI=0$ 이 된다.

그림 6과 그림 7에서 64-QAM 신호와 256-QAM 신호에 대해 각각 100회의 Monte Carlo 수행을 통해 얻은 잔류 심볼간 간섭을 dB로 나타내었다. 이때 SNR=40dB로 하였으며, 스텝 크기 α 값은 반복적인 실험을 통하여 가능한 한 빠른 수렴 속도와 정상상태에서 오차 값 변동이 작도록 낮은 심볼간 간섭을 가지는 최적값을 정하였다. 본 논문에서는 64-QAM 신호의 경우 MMA에서 $\alpha = 1.4 \times 10^{-6}$, Stop-and-Go에서 $\alpha = 2.5 \times 10^{-4}$, 그리고 제안한 알고리즘에서 $\alpha = 2.0 \times 10^{-6}$ 로 하였으며, 256-QAM 신호의 경우 MMA에서 $\alpha = 3.0 \times 10^{-8}$, Stop-and-Go에서 $\alpha = 7.0 \times 10^{-5}$, 그리고 제안한 알고리즘에서 $\alpha = 7.0 \times 10^{-8}$ 로 하였다. 또한 MMA에서 R_{MMA}^2 값은 식 (9)에 따라 64-QAM 신호의 경우 8.2로, 256-QAM 신호의 경우 37로 하였다. 일반화된 Sato 알고리즘에서 λ 값은 64-QAM 신호의 경우 5로 하였으며 256-QAM 신호의 경우 11로 하였다.

그림 6에서 제안한 알고리즘은 평균적으로 3000 반복횟수에서 -34dB 정도의 ISI 값을 가지며 정상상태로 유지됨을 보인다. 이와 비교해서 MMA는 5500 정도의 반복횟수에서 -25dB의 ISI 값을 가지며, 또한 Stop-and-Go 알고리즘은 9000 정도의 비교적 큰 반복횟수에서 -37dB 정도의 ISI 값을 가지며 정상상태로 유지됨을 보인다



(그림 6) 64-QAM 신호에 대한 양상불 평균한 심볼간 간섭 비교



(그림 7) 256-QAM 신호에 대한 양상불 평균한 심볼간 간섭 비교

다. 그림 7에서 제안한 알고리즘은 256-QAM 신호를 등화하는데 평균적으로 8000 정도의 반복횟수에서 -37.5dB 정도의 ISI 값을 가지며 정상상태로 유지됨을 보인다. 이와 비교해서 MMA는 18000 정도의 반복횟수에서 -27.5dB의 ISI 값을 가지며, 역시 Stop-and-Go 알고리즘은 22000 정도의 큰 반복횟수에서 -48dB 정도의 매우 낮은 ISI 값을 가지며 정상상태를 유지함을 보인다.

그림 6과 7에서 잔류 심볼간 간섭의 dB값이 -8dB 근방에서 시작되는 이유는 첫번째 반복(iteration)에서의 잔류 심볼간 간섭 값을 구해보

면 알 수 있다. 먼저 식 (19)에서의 채널과 등화기의 임펄스 응답간의 콘볼루션 $s(n)$ 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$s(n) = h(n) * W(n) = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -0.0050 - 0.0040i \\ 0.0090 + 0.0300i \\ -0.0240 - 0.1040i \\ 0.8540 + 0.5200i \\ -0.2180 + 0.2730i \\ 0.0490 - 0.0740i \\ -0.0106 - 0.0200i \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (20)$$

따라서 $\sum_n |s(n)| = 1.1427$ 이고,

$|s(n)|_{\max}^2 = 0.9997$ 이 된다. 구한 값들을 식 (19)에 각각 대입하여 잔류 심볼간 간섭 값을 계산하면 $ISI = 0.1430$ 이 얻어지며, 이 값을 dB로 나타내면 -8.4454dB 가 된다. 결과적으로 어떤 임펄스 응답 계수를 가지는 채널을 실험에 사용하느냐에 따라 초기 심볼간 간섭 값이 달라지게 된다. 물론 이러한 결과는 등화기의 중심 탭을 $1 + j0$ 으로, 중심 탭을 제외한 모든 탭은 $0 + j0$ 으로 초기화함으로써 야기된 것이다.

VI. 결론

본 논문에서는 탭 갱신 식이 flagged MMA에 따르도록 하는 Stop-and-Go 플래그를 가지는 새로운 블라인드 등화 알고리즘 SAG-Flagged MMA

를 제안한다. 제안한 알고리즘은 Stop-and-Go 알고리즘을 이용하여 보다 신뢰성 있는 추정 오차를 탭 갱신에 사용함으로써 MMA보다 더욱 빠른 수렴속도를 가지도록 하고, MMA에서의 취약점인 정상상태에서의 잔류 오차 특성을 크게 향상 시키도록 고안되었다. 탭 갱신 여부를 결정하는 플래그는 일반화된 Sato 알고리즘과 결정지향 알고리즘의 추정 오차 부호에 대한 일치 여부를 비교한 Stop-and-Go 알고리즘을 통해 얻었다.

컴퓨터 모의실험을 통하여 제안한 알고리즘이 Stop-and-Go 알고리즘과 비교하여 정상상태로의 수렴 속도가 2.75~3배 이상 빠르며, 정상상태에서의 ISI 값은 MMA과 비교하여 $-9\sim-10\text{dB}$ 정도 더 작음을 알 수 있었다. 따라서 제안한 알고리즘이 잔류 심볼간 간섭 량과 잔류 오차 특성, 그리고 수렴 속도 측면에서 등화후의 성능이 MMA나 Stop-and-Go등의 기존의 적응 블라인드 등화 알고리즘에 비하여 어느 쪽에 치우침 없이 우월함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Y. Sato, A method of self-recovering equalization for multilevel amplitude-modulation system, *IEEE Trans, Commun., Vol.COM-23*, 1975, pp.679-682.
- [2] D. N. Golard, Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems, *IEEE Trans, Commun., Vol.COM-28*, No.11, 1980, pp.1867-1875.
- [3] A. Benveniste & M. Goursat, Blind equalizers, *IEEE Trans. Commun., Vol.COM-32*,

- No.8, 1984, pp.871-883.
- [4] J. R. Treichler & M. G. Larimore, New processing techniques based on the constant modulus algorithm, *IEEE Trans, Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-33*, 1985, pp.420-431.
- [5] G. Picchi & G. Prati, Blind equalization and carrier recovery using a 'Stop-and-Go' decision-directed algorithm, *IEEE Trans. Commun., Vol.COM-35*, No.9, 1987, pp. 877-887.
- [6] D. Hatzinakos & C. L. Nikias, Blind equalization using a tricepstrum-based algorithm, *IEEE Trans. Commun., Vol.COM-39*, 1897, pp.669-681.
- [7] F. Zheng et. al. Blind equalization of nonminimum phase channels: Higher order cumulant based algorithm, *IEEE Trans, Speech, Signal Processing*, Vol. 41, No.2, 1993, pp.681-691.
- [8] K. N. Oh & Y. O. Chin, New blind equalization techniques based on constant modulus algorithm, *Proc. Globecom'95*, 1995.
- [9] J. Yang, J.-J. Werner, & G. A. Dumont, The multimodulus blind equalization and its generalized algorithms, *IEEE J. Selected Areas Commun., Vol.20*, No.5, 2002, pp.997-1015.
- [10] W. Lee & K. Cheun, Convergence analysis of the CMA blind equalization algorithm, *IEEE Trans. on Commun., Vol.47*, No. 2, 1999, pp.177-180.
- [11] V. Weerackody, *New algorithms and analysis for blind adaptive equalizations*, Ph.D. Dissertation, Univ. of Pennsylvania, 1989.
- [12] R. A. Axford Jr., L. B. Milstein, & J. R. Zeidler, A dual-mode algorithm for blind equalization of QAM signals: CA-DAMA, *Proc. Asilomar-29, Vol.1*, 1996, pp.172-176.
- [13] L. M. Garth, J. Yang, & J.-J. Werner, Blind equalizations for dual-mode CAP-QAM reception, *IEEE Trans, Commun., Vol.49*, No.3, 2001, pp.455-466.
- [14] Z. Ding, et. al., Ill-convergence of godard blind equalizers in eata communication systems, *IEEE Trans. Commun., Vol.39*, No.9, 1991, pp.1313-1326.
- [15] O. Shalvi & E. Weinstein, New criteria for blind deconvolution of nonminimum phase systems(Channels), *IEEE Trans, Inform Theory, Vol.IT-36*, 1990, pp.312-321

A New Blind Equalization Algorithm with A Stop-and-Go Flag

Young-Hwa, Jeong*

Abstract

The CMA and MMA blind equalization algorithm has the inevitable large residual error caused by mismatching between the symbol constellation at a steady state after convergence. Stop-and-Go algorithm has a very superior residual error characteristics at a steady state but a relatively slow convergence characteristics. In this paper, we propose a SAG-Flagged MMA as a new adaptive blind equalization algorithm with a Stop-and-Go flag which follows a flagged MMA in update scheme of tap weights as applying the flag obtaining from Stop-and-Go algorithm to MMA. Using computer simulation, it is confirmed that the proposed algorithm has an enhancing performance from the viewpoint of residual ISI, residual error and convergence speed in comparison with MMA and Stop-and-go algorithm.

Algorithm has a new error function using the decided original constellation instead of the reduced constellation. By computer simulation, it is confirmed that the proposed algorithm has the performance superiority in terms of residual ISI and convergence speed compared with the adaptive blind equalization algorithm of CMA family, Constant Modulus Algorithm with Carrier Phase Recovery and Modified CMA(MCMA).

Key Words: CMA, MCMA, MMA

* Professor, Dept. of Commercial Law, Sangji Youngseo College

