

다중결수맹목등화알고리즘에 대한 연구

리 철 화

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《현시대는 과학과 기술의 시대이며 과학과 기술이 류레없이 빠른 속도로 발전하는것은 현대과학기술발전의 중요한 특징입니다. 작은 나라일수록 빨리 발전하려면 과학기술발전에 큰 힘을 넣어야 합니다. 우리는 남이 한걸음 걸을 때 열걸음, 백걸음으로 달려 과학기술발전에서 하루빨리 세계선진수준에 올라서야 합니다.》(《김정일선집》 제15권 증보판 485페이지)

본문에서는 수자통신체계에 기초한 직교전폭변조(QAM)에서 리용되는 맹목등화알고리즘에 기초하여 개선형다중결수알고리즘 $MMA(p, g)$ 를 제안하였다. 이를 위하여 전통적인 MM (다중결수)기준에 2차원자유도를 도입하여 맹목등화알고리즘에 대한 일반화를 진행하였으며 이 과정에 얻은 알고리즘의 하나인 $MMA(2, 1)$ 이 16-QAM신호에서 나타내는 성능을 분석하였다.

1. 맹목등화방법

학습렬을 리용하지 않는 통로등화를 맹목통로등화라고 한다.

일반적으로 QAM자료통신에 대해 좋은 성능을 나타내는 초기의 맹목등화알고리즘에서는 다음과 같은 상수결수(CM)기준에 기초한 비용함수를 리용하였다.[1]

$$CM_p: J_p^{CM} = \frac{1}{2p} E[(|y_n|^p - R^p)^2] \quad (1)$$

여기서 y_n 은 중첩되지 않은 렬이다.

한편 보다 일반화된 CM 비용함수는 다음과 같다.[2]

$$CM(p, q): J_p^{CM} = \frac{1}{pq} E[(|y_n|^p - R^p)^q] \quad (2)$$

원천신호의 실값과 허값이 독립동일분포특성을 가지거나(QAM신호) 기호사이간섭이 실값과 허값사이의 호상상관이 작은 경우 전송된 자료의 실값과 허값은 현재의 중첩되지 않은 렬의 실값과 허값으로부터 추정할수 있다.[3] 이때 등화기출력의 실값과 허값들에 각각 비용함수들을 할당하여 16-QAM신호에서 ISI를 억제하는데 여기에 리용되는 수정된 CM 기준 MM_p 는 다음과 같다.[2]

$$MM_p: J_p^{MM} = \frac{1}{2p} E[(|y_{R,n}|^p - R_R^p)^2 + (|y_{I,n}|^p - R_I^p)^2] \quad (3)$$

이러한 MM 의 가장 중요한 특징은 반송파추적고리를 따로 리용하지 않고 위상요동을 제거하는것이다.

본문에서는 2차원자유도를 가진 다중결수비용함수(식 (3))를 일반화하여 초기수렴속도(16-QAM신호에 대하여)가 빠른 새로운 다중결수알고리즘을 제안한다.

2. MM_p 기준의 일반화

1) 체계모형

기초대역체계에서 시불변통로(FIR)로 전송되는 QAM신호열 a_n 을 고찰하자. 이때 보드 속도로 표시한 통로와 등화기의 출력을 다음과 같이 쓸수 있다.

$$x_n = h_n \cdot a_n + N_n, \quad y_n = w_n^H x_n$$

여기서 h_n 은 FIR통로의 임펄스응답, w_n 은 n 시각의 등화기벡토르, N_n 은 가산성백색잡음의 표본, $\mathbf{x}_n = \{x_n, \dots, x_{n-N+1}\}^T$ 는 통로출력열 즉 등화기의 입력열, T 와 H 는 각각 전이와 에르미트전이를 표시한다.

등화목표는 수신자료 x_n 만을 리용하여 수신된 송신신호열 a_n 을 추정하는것이다.

2) 일반화된 다중결수기준

현재 많이 리용되고있는 맹목등화알고리즘들은 수학적구조가 근사하므로 현재의 비용함수 MM_p 에 파라메터 q (임의의 차원의 자유도)를 도입하면 새로운 비용함수는 다음과 같이 된다.

$$J_{p,q}^{MM} = \frac{1}{2p} E[(|y_{R,n}|^p - R_R^p)^q + (|y_{I,n}|^p - R_I^p)^q] \quad (4)$$

여기서 $p, q \geq 1$ 이다.

이때 다중결수알고리즘은 $J_{p,q}^{MM}$ 을 \mathbf{w} 에 관하여 미분하여 얻는데 그 결과는

$$\mathbf{w}_{n+1} = \mathbf{w}_n + \mu \begin{bmatrix} |y_{R,n}|^{p-2} (R_R^p - |y_{R,n}|^p) y_{R,n} \\ |y_{I,n}|^{p-2} (R_I^p - |y_{I,n}|^p) y_{I,n} \end{bmatrix} \mathbf{x}_n \quad (5)$$

으로 되며 이것을 $MMA(p, q)$ 로 표시한다.

여기서 $0 < \mu \leq 1$ 이며 정의상수 R_R 와 R_I 는 이치러짐상수로서 원천통계량에 따라 선택된다.

한편 식 (4)로부터 맹목등화알고리즘에 관한 몇가지 비용함수들을 다음과 같이 정의할 수 있다.

① $p=1, q=2$ 일 때

$$J_{1,2}^{MM} = \frac{1}{2} E[(|y_{R,n}| - R_R)^2 + (|y_{I,n}| - R_I)^2]. \quad (6)$$

이것은 이미 제안된 비용함수로서 RCA(Reduced Constellation Algorithm) 또는 GSA(Generalized Sato Algorithm)이라고 부르는데 여기에 대응한 알고리즘은 $MMA(1, 2)$ 이다.

② $p=1, q=1$ 일 때

$$J_{1,1}^{MM} = E[|y_{R,n}| - R_R + |y_{I,n}| - R_I] \quad (7)$$

이것은 새로운 비용함수로서 SGSA(Sign Generalized Sato Algorithm) 또는 SRCA(Sign Reduced Constellation Algorithm)라고 부르며 여기에 대응한 알고리즘을 $MMA(1, 1)$ 이라고 한다.

③ $p=2, q=2$ 일 때

$$J_{2,2}^{MM} = \frac{1}{4} E[(y_{R,n}^2 - R_R^2)^2 + (y_{I,n}^2 - R_I^2)^2] \quad (8)$$

이것 역시 이미 제안된 알고리즘에 해당하는 비용함수로서 여기에 대응한 알고리즘은 $MMA(2, 2)$ 이다.

3. 새로운 다중결수알고리즘 $MMA(2, 1)$

현재 리용되고있는 통계적그라디언트에 기초한 맹목등화알고리즘의 비용함수들은 제안한 비용함수 (4)의 특수경우이다. 이러한 일반화로부터 새로운 다중결수알고리즘들을 구성할 수 있다. 합리적인 p 와 q 의 선택은 $p=2, q=1$ 인 경우이다. 이때 학습규칙은 다음과 같다.

$$\mathbf{w}_{n+1} = \mathbf{w}_n + \mu \{ \text{sgn}[R_R^2 - y_{R,n}^2] y_{R,n} - j \text{sgn}[R_I^2 - y_{I,n}^2] y_{I,n} \} \mathbf{x}_n \quad (9)$$

여기서 sgn 은 표준부호함수이다.

이때 알고리즘 (9)를 $MMA(2, 1)$ 로 표시한다.

4. 모의결과와 분석

여러가지 통로에 대한 모의결과에 의하면 $MMA(2, 1)$ 의 수렴특성은 16-QAM에서 $MMA(1, 1)$, $MMA(1, 2)$, $MMA(2, 2)$ 보다 우월하다는것을 알수 있다. 또한 더 높은 차수의 별자리표들(64-QAM, 256-QAM)에서 $MMA(2, 2)$ 의 성능은 $MMA(2, 1)$ 과 근사하다.

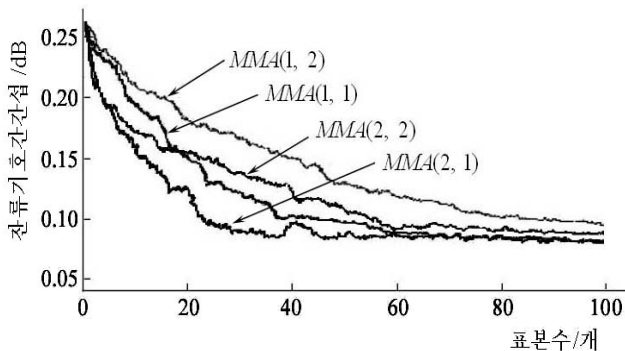


그림. ISI의 모의선도

AWGN통로에서 16-QAM의 네가지 경우에 따르는 ISI와 MSE수렴특성은 그림과 같다. 이 결과들은 보드속도등화에 대하여 독립적인 실행을 충분히 진행하고 그것에 대한 평균으로 얻었다.

그림으로부터 $MMA(2, 1)$ 이 같은 안정상태에서 $MMA(1, 1)$, $MMA(1, 2)$, $MMA(2, 2)$ 보다 빨리 수렴한다는것을 알 수 있다.

그리고 $MMA(2, 1)$ 의 MSE는 서로 다른 2개의 16-QAM수신기에서 류사하다.

맺 는 말

QAM신호의 맹목등화를 위한 2차원자유도를 가진 일반적인 MM 기준을 제기하였다. 또한 RCA, MCMA 및 SRCA와 같은 현재 리용되고있는 알고리즘들과 제안된 기준과의 관계를 밝히었다. 그리고 모의실험을 통하여 $MMA(2, 1)$ 이 16-QAM에서 가장 빠른 수렴속도를 가진다는것을 확증하였다.

참 고 문 헌

- [1] A. Goupil et al.; IEEE Tran. Signal Process, 55, 4, 1436, 2007.
- [2] J. Yang et al.; Proc. IEEE Intl. Conf. DSP, 1, 127, 1997.
- [3] Xi-Lin Li et al.; IEEE Trans. Commun, 54, 11, 1913, 2006.

주제 103(2014)년 6월 5일 원고접수

Multi-Modulus Blind Equalization Algorithm

Ri Chol Hwa

We have proposed the improved multi-modulus equalization algorithm $MMA(p, g)$ based on blind equalization algorithm for QAM based on digital communication system. And we have generalized a blind equalization algorithm by introducing two dimension of freedom in MM criterion and made the performance comparison between other blind equalization algorithms and a proposed algorithm for 16-QAM via MATLAB simulation.

Key words: multi-modulus, blind equalization, MM criterion