

ICS를 위한 개선된 LMS 알고리즘 개발

*김장섭 **이정우

서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소

*jskim@wmspl.snu.ac.kr **junglee@snu.ac.kr

The modified LMS algorithm for the Interference Cancellation System

*Jangseob Kim **Jungwoo Lee

Seoul National University EECS, INMC

요약

본 논문에서는 현재 상용화 되어있는 WCDMA용 ICS (Interference Cancellation System) 중계기의 성능 개선을 위한 개선된 LMS 알고리즘을 연구하였다. ICS 중계기의 수신으로 입력되는 신호는 수신 신호와 케환되어 입력되는 신호로 구성된다. 이렇게 입력되는 케환 신호를 LMS와 같은 적응형 채널 추정 알고리즘을 통해 제거하는 기술이 ICS 중계기의 핵심 요소이다. 중계기의 저비용 및 단순화를 위해서는 기존에 사용되어온 적응형 채널 추정 알고리즘의 단순화가 필요하다. 실험을 통해 기존 NLMS 알고리즘 및 계산 복잡도 감소를 위해 수정된 LMS 알고리즘을 MSE (Mean Square Error) 기준에서 성능 비교를 하였다.

1. 서론

ICS (Interference Cancellation System)는 RF 중계기의 단점을 보완하여 제작한 System으로 BTS와 Mobile 경로 사이에 설치되고, High Gain, High Power 특성으로 BTS의 Cell Coverage를 적은 비용으로 확장 할 수가 있다.

ICS를 사용할 때의 최대 장점은 일반 RF Repeater에 비하여 Link Antenna와 Service Antenna 사이에서 Isolation이 최소한 -10dB 이상 분리되면 Antenna 간의 발진 현상을 장비 내에서 제거 되므로 운영이 가능 한 것이다.

일반적으로 RF Repeater의 최대 문제점으로 Field에서의 Antenna 간의 Isolation 확보에 문제가 많아 설치에 어려움이나 시설의 비용 증가로 운영하기에 많은 문제점을 발생 시켜 왔다. Field에서 설치 조건으로 항상 Link Antenna와 Service Antenna 거리를 조정하여 최소한 -20dB의 Isolation을 확보한다. 그렇지 않으면 Repeater의 Service Antenna에서 송신 되는 출력 신호가 Link Antenna로 다시 유입 되어 BTS Signal과 서로 Mixer 되어 장비에서 발진이 일어나며, 이것은 곧 EVM 값들이 나빠져 통화 품질뿐만 아니라 BTS의 전체 특성을 저하 시키는 요인이 된다.

ICS는 Field에서 이런 단점을 보완하기 위하여 “Feedback Rejection Technique”를 사용하며, 이는 Service Antenna에서 송신 되는 출력 신호가 Link Antenna로 다시 유입 되는 Signal을 DSP(Digital Signal Processing) 기술을 이용 하여 발진 현상을 장비에서 Rejection 시키는 방식이다.

케환 간섭신호는 채널특성에 따라 페이딩이 발생된 랜덤한 신호이기 때문에 케환 간섭신호를 정확하게 예측하여 만들어내는 것은 어렵다. 따라서 ICS는 케환 간섭신호를 제거하기 위해 우선적으로 케환 간섭신호를 실시간으로 인지하여 상쇄신호를 생성한다. 그 후 적응

알고리즘을 통해 간섭 제거 파라미터를 결정하고 이를 이용하여 간섭 제거 신호를 생성한 후 새로운 케환 신호와 음의 합성을 하여 케환 간섭신호를 제거한다. 이러한 적응 알고리즘으로 LMS 알고리즘이나 RLS 알고리즘을 이용하게 된다. 그러나 RLS를 이용한 적응형 채널 추정 알고리즘은 LMS에 비해 상대적으로 매우 높은 복잡도를 가지고 있어 구현상 고성능의 하드웨어를 요구하므로 실질적인 적용이 어렵다. 따라서 일반적인 ICS 중계기에는 LMS에 기반을 둔 알고리즘이 적응형 채널 추정 알고리즘으로 사용되고 있다.

2. 본론

2.1 ICS의 구조

ICS 중계기의 간략한 구성도는 그림 1에 나타내었다.

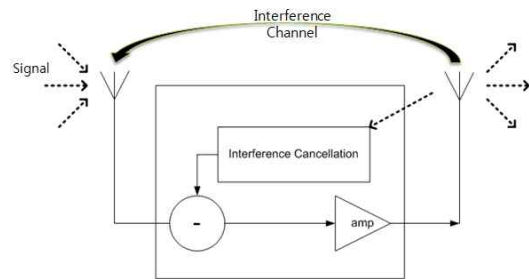


그림 1. ICS의 구조

ICS중계기의 수신 안테나에서는 현재 입력된 신호와 이전 입력신호가 ICS를 통과하여 송신되는 신호로부터 케환된 신호가 결합되어 들어온다. 중계기 내부의 간섭 제거기는 그림 2에 나타난 간섭제거기를 통해 케환 입력 신호가 통과한 채널 성분을 추정한다. 이렇게 추정된 케환 신호 성분이 ICS 중계기의 입력신호로부터 제거되고 이를 통해 간섭이 제거된 추정된 입력신호가 시스템에 설정된 증폭기를 통과하

여 송신되는 구조를 가진다.

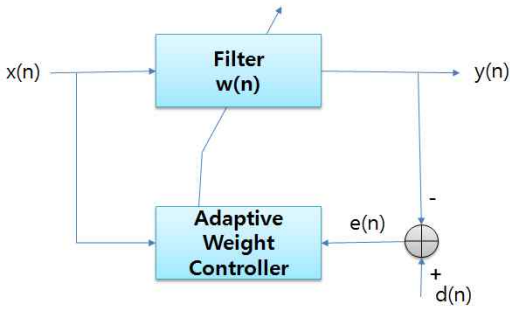


그림 2. 적응형 채널추정필터의 구조

2.2 PNS-LMS 알고리즘

LMS 알고리즘은 활용할 데이터로부터 확률적 경사 기법 (Stochastic Gradient Method)에 의거한 추정 기법을 사용한다. 그림 1 에서 보는 것처럼, LMS 알고리즘은 디지털 필터의 출력과 요구되는 신호와의 오차를 최소화하는 방향의 가중치(weight) 값을 구해줌으로써 평균 제곱 오차 (mean squared error) 를 최소화 시키는 것이다. 확률적 경사기법에 교차-상관관계 벡터와 입력 자신의 상관관계 행렬에 대한 즉석 추정치(Instantaneous Estimation)를 적용할 경우 적응 필터 $\hat{w}(n)$ 의 식은 아래와 같이 구해진다.

$$\hat{w}(n+1) = \hat{w}(n) + \mu \mathbf{x}(n) e^*(n) \quad (1)$$

이렇게 변형된 적응 필터 $\hat{w}(n)$ 는 교차-상관관계 벡터와 입력 자신의 상관관계 행렬을 구성할 필요 없이, 출력을 통한 오차의 계산과 비중치(weight) μ 의 곱을 입력 신호 $x(n)$ 에 곱하여 이전의 $\hat{w}(n)$ 에 합해주는 것만으로 갱신의 과정을 마칠 수 있다. LMS를 이용한 적응 알고리즘은 특유의 낮은 복잡도를 갖는 장점이 있으나 고정된 스텝 크기 값을 사용하므로 평균 제곱오차의 측면에서 최적인 값으로 수렴하지 못하거나 수렴 속도가 느리게 될 수 있으며 앞서 자기 상관 함수와 교차 상관 함수대신 추정치를 사용한 한계점으로 인한 수렴 성능의 저하가능성을 내포한다. 일례로 위에 명시된 LMS 필터의 계수 갱신 관계식을 보면 각 적응 필터의 구성 요소들은 입력 신호 $u(n)$ 의 크기에 크게 영향을 받게 됨을 알 수 있다. 만약 갑작스럽게 큰 입력 출력력을 갖는 신호들이 들어온다면, 그 순간 적응 필터를 갱신하는 값은 갑자기 커져버리는 문제가 생기게 되고 반대의 경우로 작은 입력 신호가 들어오게 된다면, 갱신 값은 작아져 버릴 수밖에 없다. 이러한 입력신호의 크기에 대한 의존성으로 인해 기대 신호를 적절히 추정해 내는데 많은 시간을 소요하게 되며, 적응 능력이 현저하게 떨어지고 만다.

또한 LMS 의 단점으로 안테나간의 Isolation에 민감하여 환경에 의한 Isolation 열화 발생 시 쉽게 발견할 수 있는 가능성을 가지고 있는 것을 지적할 수 있다. 동일한 조건 아래에서라면 NLMS 방식이 Isolation 변화에 상대적으로 강하다. 그 이유는 NLMS 알고리즘의 계수 갱신 관계에서 찾아 볼 수 있다. 식 (2)에 해당하는 NLMS 방식은 입력된 값의 출력에 해당하는 값으로 정규화 시켜줌으로써 크기변화가 큰 신호의 입력에 대하여 갱신되는 계수의 변화가 최소화 되도록 설계되었기 때문에 발견의 가능성이 줄어들지만 LMS 알고리즘은 그러한 대응기능이 없기 때문에 크기 변화가 큰 입력 신호에 대해 상대적으로 높은 발견 가능성을 보이게된다.

NLMS는 통상적인 LMS와 동일한 입력력 구조를 사용하며 아래와 같은 필터 계수 갱신 관계를 통해 이러한 LMS의 단점을 보완한다.

$$\hat{w}(n+1) = \hat{w}(n) + \frac{\tilde{\mu}}{\delta + \|\mathbf{u}(n)\|^2} \mathbf{u}(n) e^*(n) \quad (2)$$

NLMS 필터는 최적값을 향한 보다 향상된 수렴 특성을 보이게 된다. 다시 말해 입력 값에 맞춰 필터 계수의 변화를 최소화 하도록 적절히 변동하는 스텝값을 사용하는 방식으로 볼 수 있다. 알려져 있는 자료를 통해 LMS와 NLMS의 평균 제곱 오차 수렴특성을 나타낸 결과를 보면 비슷한 수렴 특성을 갖기 위해서는 LMS의 경우 더 작은 스텝값을 사용해야 함을 알 수 있다. 따라서 일반적으로 NLMS 필터의 성능이 수렴속도와 수렴 오차 정확도 면에 있어 LMS 필터보다 우수하다고 말할 수 있다. 그러나 LMS 방식 보다 계산 복잡도가 증가한 문제점이 있다.

Sign LMS 알고리즘은 LMS 알고리즘이나 NLMS 알고리즘에 있어서 계수 갱신 시 연산량을 줄이는 방법을 입력 신호나 오차 신호의 부호를 이용하여 계수 갱신을 행하는 알고리즘이다. LMS 알고리즘에 있어서 부호를 이용하는 계수갱신 방법으로

$$W(k+1) = W(k) + \mu e(k) \text{sgn}[X(k)] \quad (3)$$

와 같은 관계식이 제안되어 있다. sign 함수의 도입으로 변수의 값 자체가 아니라 부호만으로 갱신 관계식을 구성하게 되므로 알고리즘의 계산 복잡도를 감소시킬 수 있으며 계산의 속도 자체가 가속화된다. 특히 스텝 크기가 2의 m승의 형태라면 Sign LMS/NLMS 알고리즘은 이동(shifting)과 덧셈(addition) 연산만이 필요한 성질을 지녀 알고리즘의 속도를 높인다. 그러나 반대로 필터 계수 갱신 고정에서의 정확도가 떨어지는 함수의 적용으로 인해 정상 상태 오류가 증가하고 수렴 속도역시 증가하게 되는 단점이 있다. 동일한 평균 제곱 오차 수렴 특성을 갖기 위해서는 Sign LMS 방식이 더 작은 스텝 크기를 사용해야 하므로 LMS의 수렴특성이 우수하고 할 수 있다.

상기에 열거된 각 알고리즘의 특성을 비교하여 볼 때 ICS에 사용되는 적응 필터에 적용될 LMS를 기본 구조로 한 알고리즘을 비교해본 결과 처리되는 속도 자체는 부호 함수를 이용한 Sign LMS가 가장 우수하나 수렴되는 정상 상태 오류값이 상대적으로 다른 알고리즘에 비해 높다. NLMS 알고리즘은 기본 LMS 알고리즘에 비해 증가한 계산 복잡도 특성을 보유하지만 수렴되는 정상 상태 오류값이 상대적으로 낮고 수렴 속도역시 빠른 우수한 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 LMS 알고리즘과 NLMS 방식의 주요한 차이점인 계산 복잡도의 증가분을 부호 함수의 특성을 이용해 보다 줄일 수 있다면 상대적으로 수렴 속도가 빠르고 낮은 정상 상태 오류 값을 갖는 알고리즘을 구현할 수 있다. 이와 같은 논점에서 다음과 같은 필터 계수 갱신 관계식을 제안하여 실험을 통해 성능을 비교하였다.

$$W(k+1) = W(k) + \mu \frac{e(k)}{\gamma + \sum_{i=0}^{L-1} |x(k-i)|} \text{sgn}[X(k)] \quad (4)$$

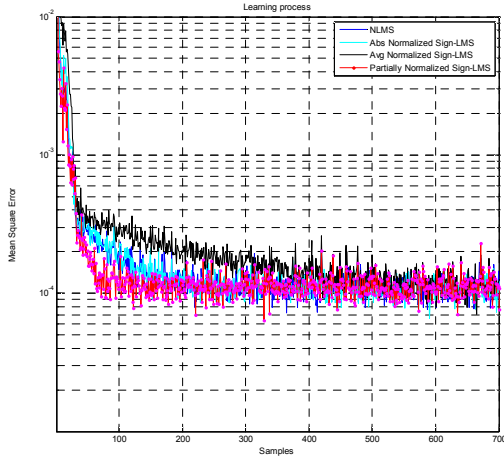


그림 3 NLMS와 실험에 사용된 알고리즘의 MSE 비교. Abs SN-LMS, Avg SN-LMS, PNS-LMS는 각각 식 (4),(5),(6)에 해당.

$$W(k+1) = W(k) + \frac{\mu}{\gamma + M[X(k)]} \text{sgn}[X(k)]e(k) \quad (5)$$

$$W(k+1) = W(k) + \frac{\mu}{\gamma + \sum_{i=0}^m |x(k-i)|^2} \text{sgn}[X(k)]e(k) \quad (6)$$

NLMS의 계수 갱신 관계식에 존재하는 분자 위치의 입력함수 $X(n)$ 에 부호 함수를 적용한 상태에서 분모에 위치하고 있는 입력값의 파워에 해당하는 인자를 계산 량이 보다 적은 다른 방식으로 대체하였을 때 가능한 기존 NLMS 방식보다 비슷하거나 우수한 특성의 필터 계수 관계식을 찾는 것을 목표로 한다. 식 (4)~(6)의 필터 계수 갱신 관계식은 동일한 Sign 알고리즘을 적용하였다. 식 (4)는 적응 필터 내부 메모리에 저장된 입력 값 벡터의 l_1 norm으로 정규화 과정을 대체한 갱신 관계식이다. 이 방식을 사용하면 일반적인 NLMS 알고리즘의 l_2 norm 연산이 덧셈으로 대체되므로 하드웨어의 물리적 복잡도를 줄일 수 있다. 식 (5)는 필터 입력 벡터의 순간 l_2 norm을 대신하여 누적 평균값 (7)을 매 필터 입력에 대해 갱신하는 방식을 적용한 것이다.

$$M[X(k)] = M[X(k-1)] \cdot \frac{i-1}{i} + \frac{\|X(k)\|^2}{i} \quad (7)$$

식 (6)은 필터 입력 벡터의 모든 원소에 대한 l_2 norm 계산을 대신하여 필터 입력 벡터 원소들의 부분집합에 대한 부분 l_2 norm 계산을 통해 필터 계수 갱신 관계식을 설정한 것이다. 예를 들어 탭길이가 L 인 필터에서 NLMS에서는 1부터 L 번째 입력 벡터 원소 값들의 제곱의 합을 계산하는 방식이지만 m 개의 벡터 ($m < L$) 원소들의 제곱의 합으로 수정한 관계식이다. 따라서 (6)의 관계식을 사용할 경우 L 번의 제곱과 덧셈이 m 번으로 줄어드는 효과를 갖는다.

다음 실험 결과에서 제안한 개선 알고리즘과 NLMS 방식간의 평균 제곱 오차관점의 비교를 통해 제안된 알고리즘의 특성을 나타내었다.

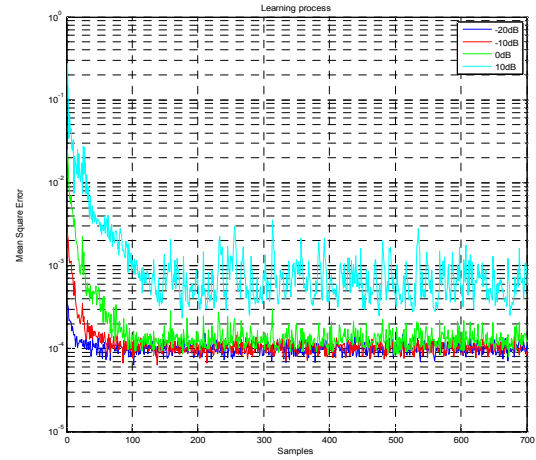


그림 4 PNS-LMS 알고리즘의 Isolation에 따른 수렴특성

2.3 실험결과

실험에서의 채널은 Rayleigh fading channel을 가정하며 식(6)에 사용된 m 값은 3으로 설정한 후 Monte-Carlo 방식으로 실행하였다.

LMS의 단점으로 안테나간의 Isolation에 민감하여 환경에 의한 Isolation 열화 발생 시 쉽게 발진할 수 있는 가능성을 가지고 있는 것을 지적할 수 있다. 기존 연구 결과를 통해 NLMS 알고리즘의 발진 가능성이 LMS의 발진 가능성보다 낮음이 알려져 있다. 실험에서는 식 (4)~(6)의 필터계수 갱신 알고리즘을 적용한 ICS의 MSE (Mean Square Error) 관점에서의 오류 수렴도 경향을 비교한다.

그림 3에는 실험에 사용된 각 알고리즘의 MSE 수렴 특성이 나타나 있다. 식 (4)의 경우 l_2 norm대신 l_1 norm을 사용하여 부정확성을 추가하였음에도 불구하고 NLMS와 유사한 수렴 경향을 보여 주고 있다. 따라서 Sign 알고리즘을 통한 계산 복잡도 감소 효과와 더불어 하드웨어의 물리적 복잡도를 줄일 수 있는 장점이 충분한 실효성을 가지고 있다고 판단할 수 있다. 그러나 식 (5)의 필터 갱신 알고리즘을 적용한 경우는 필터 입력 벡터의 크기 변화 추이를 갱신 관계식의 정규화가 따라가지 못하여 오히려 열화된 수렴 속도를 보인다. 필터 입력 벡터의 부분 제곱 합으로 정규화한 방식을 사용한 (6)의 계수 갱신 알고리즘을 사용할 때는 앞서 제시된 다른 알고리즘 보다 상대적으로 빠른 수렴속도를 보이고 있다. (NLMS는 약 300 샘플이후 수렴 지점에 도달하는 반면 PNS-LMS는 약 100샘플지점에서 NLMS 알고리즘의 정상상태 오류값에 근접하게 수렴한다.) 또한 전체 벡터 원소가 아닌 부분집합의 절대값의 제곱을 사용하고 Sign 알고리즘의 사용으로 단순화된 특성을 이용하여 갱신 절차를 지속하게 되므로 계산 복잡도 감소의 이득을 취한다.

그림 4는 PNS-LMS 알고리즘이 적용된 ICS의 안테나간 Isolation에 따른 MSE 수렴경향을 실험한 결과이다. 실험 결과를 통해 알 수 있듯이 안테나간 적절한 Isolation이 보장되지 않으면 적응 채널 추정 필터의 동작의 수렴속도와 정상 상태오류의 열화를 야기하는 현상을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문을 통해 ICS에 적용될 수 있는 세 가지의 변형된 형태의 NLMS 알고리즘을 제안하였다. 그중 필터의 입력벡터의 l_2 norm과

Sign 함수를 이용한 계수 갱신 관계식인 PNS-LMS 알고리즘을 ICS에 적용할 경우 NLMS보다 신속한 MSE 수렴 특성을 보였으며 유사한 정상상태 오류 값에 수렴하는 특성을 보였다. 따라서 계산 복잡도의 감소를 고려한다면 제안된 PNS-LMS 알고리즘을 적응형 채널 추정 필터로써 사용하는 것이 이득이 있다.

Acknowledgement

이 연구는 한국 학술진흥재단 (MOEHRD,KRF-2008-314-D00287) 과 서울시 산학연 협력사업 (JP091007)의 지원 아래 이루어졌습니다.

참고문헌

- [1] Simon Haykin "Adaptiv Filter Theory" 4th edition. pp.231-311, prentice hall 2002.
- [2] S.Rappaport, Wireless Communication, Prentice Hall 2002
- [3] S. J. Elliott and P. A. Nelson, "Active noise control," IEEE Signal Process. Mag., vol. 10, no. 4, pp. 12 - 35, Oct. 1993.
- [4] S. C. Douglas, "A family of normalized LMS algorithms," IEEE Signal Process. Lett., vol. 1, no. 3, pp. 49 - 51, Mar. 1994
- [5] H. Park, D. Ko, "Interference cancellation system with adaptive step size for sign LMS algorithm", 한국 정보기술학회 하계논문집 p.227
- [6] S. Lee, H. Song, "A design of Adaptive Channel Estimate Algorithm for ICS Repeater", 전자공학회 논문지 46권 3호, p.19