

고속통신시스템 수신기의 잡음소거를 위한 파이프라인 LMS 필터설계

조삼호, 권 승 탁, 김 용 석
서남대학교 컴퓨터정보통신학과
전화 : 063-620-0149 / 핸드폰 : 016-622-2081

Design of Pipelined LMS Filter for Noise Cancelling of High speed Communication Receivers System

Sam-Ho Cho, Seung-Tag Kwon, Young-Suk Kim
Dept. of Computer and Information Communication, Seonam University
E-mail : stkwon@seonam.ac.kr

Abstract

This paper describes techniques to implement low-cost adaptive Pipelined LMS filter for ASIC implementations of high communication receivers. Power consumption can be reduced using a careful selection of architectural, algorithmic, and VLSI circuit technique. A pipelined architecture for the strength-reduced algorithm is then developed via the relaxed look-ahead transformation. This technique, which is an approximation of the conventional look-ahead computation, maintains the functionality of the algorithm rather than the input-output behavior. Convergence analysis of the proposed architecture has been presented and support via simulation results.

The resulting pipelined adaptive filter achieves a higher throughput or requires lower power as compared to the filter using the serial algorithm.

하는 방법이 필요하다[5]. 본 논문에서는 입출력 특성을 변화 시키지 않고 신호처리능력을 향상시킬 수 있는 파이프라인 알고리즘에 관하여 알아 보고 사전정보를 완전히 모르는 시스템에 이용하는 적응 파이프라인 필터를 구현한다[2]. 적응필터는 신호처리 과정중 필요에 따라 시스템의 특성을 변화시키는 최소자승평균 알고리즘(LMS: Least Mean Square)를 사용한다. 최소자승평균 알고리즘은 수식이 간단하여 다른 알고리즘에 비하여 하드웨어 구현이 쉽다. 따라서 본 논문에서는 LMS 알고리즘이 파이프라인 기능을 가지도록 완화예측(RLA:Relaxed Look-Ahead)기능을 추가한 적응파이프라인 필터를 설계한다.

본 논문의 구성은 2장에서 파이프라인 LMS 알고리즘 관하여 알아보고 3장에서는 제안한 파이프라인 필터의 구조와 동작을 살펴보고 논리회로 시뮬레이션을 행하였다. 4장에서는 성능평가 및 분석을 하고 5장에서 결론 맺었다.

I. 서론

이중나선(Unshield Twisted Pair)선로를 이용한 통신시스템의 수신부나 여러개의 안테나를 갖는 무선 수신장치에서는 채널간섭 현상이 발생한다[1]. 이때 발생하는 간섭현상은 좋은 품질의 전송신호를 얻는데 방해가 되므로 이를 소거

II. 파이프라인 LMS 알고리즘

적용 파이프라인 최소자승평균알고리즘은 입력신호의 사전 정보를 완전히 모르는 고속 통신시스템의 수신기에서 오류정보를 수정하기 위한 적응필터를 구현 하는데 사용한다 [4][5]. 본 절에서는 적응LMS알고리즘과 파이프라인 LMS 알고리즘에 관하여 설명한다.

2.1 적응 LMS 알고리즘

적응 LMS 필터는 입력신호 $X(n)$ 전혀모르는 경우 출력 신호 $Y(n)$ 를 이용하여 어떠한 기준아래 최적이 되도록 추차수정해주는 기능을 갖는 시스템이다. 적응필터는 적응알고리즘에 의하여 구현되는데, 적응 알고리즘은 최소자승평균 알고리즘을 사용한다. 최소자승평균 알고리즘은 다음 식으로 표현할 수 있다

$$W(n) = W(n-1) + \mu e(n)X(n) \quad (1)$$

$$e(n) = d(n) - W^T(n-1)X(n) \quad (2)$$

여기서 $X(n)$ 은 입력신호이고, $d(n)$ 은 응답신호이다. $e(n)$ 은 원하는 응답과 $d(n)$ 과의 차이를 이용하여 처리시스템의 필터계수 $W(n)$ 을 자동적으로 조절하여 자승 평균오차신호가 최소가되도록한다.

적응필터를 하드웨어로구현하면 그림 1과같다.

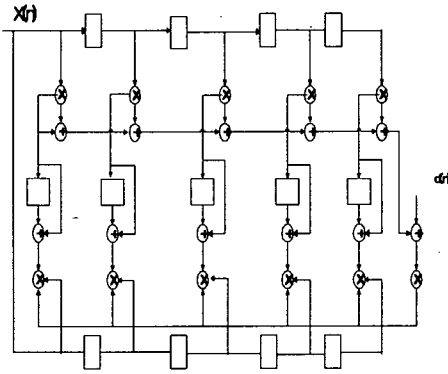


그림 1 직렬구조로 된 적응LMS필터의 구조

n 번 반복하는 최소자승 평균알고리즘은 $W^T(n)$ 를 선택하고 이것은 자승오류 e^2 을 최소화한것이다. 따라서 LMS 적응필터는 FIR 필터 (F-block) 과 계수벡터 $W^T(n)$ 과 입력 시퀀스 $x(n)$ 과 계수가증값 갱신부 (WU: weight update)등으로 구성한다.

이 필터의 구조는 일반 디지털 필터와 같이 가산기, 곱셈기, 지연소자등으로 설계할 수 있으며 적응필터블럭은 입력 데이터 $x(n)$ 과 적응계수 $w(n)$ 을 진볼부연시키기 도록 구성하므로 FIR 필터와 같은 동작을 한다. LMS필터의 반복적인 오류신호 $e(n)$ 는 필터블럭과 가중치갱신블럭에의하여 계산된다. 이 시스템의 하드웨어 동작을 살펴보면 계산되는 소자들의 지연 시간 때문에 입력신호와 적응신호가 계산된 가중치 적응신호가 동시에 계산되려면 가중치 계산 시간 만큼 지연이 되는 것을 볼 수 있다.

2.2 파이프라인 LMS알고리즘

직렬 LMS알고리즘을 하드웨어로 구성하면 하드웨어 시스템은 입력된 데이터의 가중치값이 완전히 계산될 때까지 다음의 데이터를 처리할수 없다. 그러나 M단계로 파이프라인된 시스템은 비파이프라인 시스템보다 M배만큼 빨라진다 [4][5].

파이프라인 최소자승평균알고리즘은 LMS알고리즘에 완화예측 기술을 적용하여 유도할 수 있다.

완화예측 기술은 매우 높은 샘플율을 가지며 하드웨어 복잡도를 최소화할 수 있는 방법이다. 식 (1)의 LMS 알고리즘은 그림 1과 같이 하드웨어로 구성하면 입력신호는 갱신되는 계수 계산이 순차적으로 이루어지는 동안 기다려야 한다. 그러나 LMS알고리즘의 시간영역에 M-단계의 예측방식을 적용하면 식 (3)을 얻을 수 있다.

파이프라인 알고리즘의 클럭점은 순차구조의 시간보다 적은 $1/M$ 시간이다. 즉 가산하는 시간보다 적게걸린다. 여기서 M 은 파이프라이닝의 단계이다.

파이프라인이 적용된 필터는 순차적인 최소자승평균식에 완화예측기능을 포함하여 다음 식으로 같이 표현한다.

$$W(n) = W(n - D_2) + \mu \sum_{i=0}^{LA-1} e(n - D_1 - 1)X(n - D_1 - i) \quad (3)$$

$$e(n) = d(n) - W^T(n - D_2)X(n) \quad (4)$$

여기서 D_1 과 D_2 는 파이프라이닝 래치(latch)들이고 $LA \leq D_2$ 는 예측인자이다. 하드웨어 비용(overhead)은 $N(LA-1)$ 개의 가산기이다. 여기서 N 은 필터의 차수이다.

D_1 과 D_2 지연소자들은 수렴특성을 변화시킨다.

파이프라인 LMS의 수렴분석은 스텝크기 μ 범위를 표시하고 직렬알고리즘 보다 여유가 적다. 더 나아가 수렴속도와 적응 정확도는 조금 저하되는 것을 볼 수 있다. 실제 응용에서는 파이프라이닝으로인한 성능감소는 무시할수 있고 구조적인 결과로 의미가없다.

그림 2는 $M=3$ 인 파이프라인 알고리즘의 구조를 보여준다. 완화예측기술은 $M-1$ 개의 가산기와 지연소자, 필터탭으로 구성되어 있다. 식 (3)에서는 M 지연소자들은 지연 루프안에 포함되어 있다. 여분의 지연소자의 적당한 분배에 의하여 파이프라인 구조는 M 배 빠르게 동작한다. 이것은 파이프라이닝의 결과로 처리능력이 향상되고 소비전력감소나 칩의 면적이 감소할수있다. 소비전력의 감소는 전력공급의 비례축소(scaling)와 결합한다. 칩면적의 감소는 접힘(folding)변환과 결합하여 성취할 수 있다.

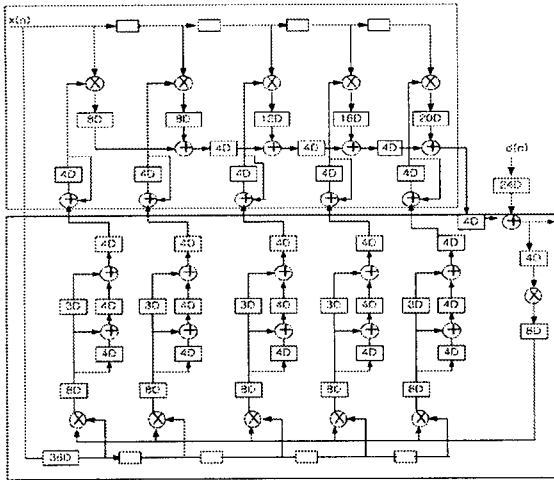


그림 2 파이프라인 최소자승 평균 필터의 구조

III. 5탭 파이프라인 LMS 필터 설계와 시뮬레이션

파이프라인 LMS 필터는 입력 심볼들과 계수를 컨볼루션하는 FIR 필터인 F블럭과 가중치를 갱신할 수 있도록 계산하는 WUD 블럭으로 설계한다. 이 필터는 곱셈기, 가산기, 지연소자등으로 구성하였다. 적응파이프라인 LMS의 필터의 동작은 12비트의 값이 입력되고 이 신호들은 매 심볼이 들어올때마다. 다음 단으로 시프트된다. 5개의 수신 신호의 레지스터가 모두 입력값으로 채워지면 그때부터 파이프라인 적응필터가 정상적으로 동작한다. 4비트의 수신신호는 22비트씩 할당된 필터의 계수와 곱해져서 26비트의 신호를 만들어내고 5개의 탭에서 계산되어 나오는 출력들은 캐리세이브 가산기에서 더해지고 원하는 신호에서 빼면 오류신호가 만들어진다. 오류신호는 적응상수 μ 와 곱하여져 가중치갱신값을 계산할 때 사용된다[6][7].

3.1 파이프라인 필터 설계

이 필터는 곱셈기, 가산기, 지연소자등으로 구성하였다. 적응파이프라인 LMS의 필터의 동작은 12비트의 값이 입력되고 이 신호들은 매 심볼이 들어올때마다. 다음단으로 시프트된다. 5개의 수신 신호의 레지스터가 모두 입력값으로 채워지면 그때부터 파이프라인 적응필터가 정상적으로 동작한다

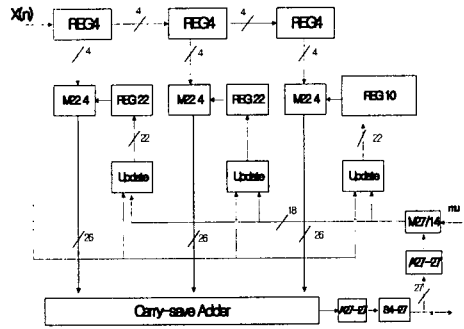


그림3 5탭 파이프라인 필터설계

입력되는 셀 들은 3비트의 목적지 주소를 가지고 입력되며, 출력포트에서는 정렬 소자 마지막 단에서 1비트의 목적지 주소가 추가된 4비트 목적지 주소(상단 2개 셀 = 0, 하단 2개 셀 = 1추가)로 바뀌어 출력된다.

IV. 파이프라인 필터 성능분석

이 장에서는 파이프라인 필터의 성능과 하드웨어 양을 비교 분석하였다.

4.1 하드웨어 성능

그림 2에서 보여주는 5탭의 직렬 LMS 필터의 구조는 입력 데이터와 계수데이터를 계산해주는 F.블록과 가중치 값을 갱신해 주는 WUD 블럭으로 구성한다. 이때 곱셈기의 계산 시간을 T_m , F블럭의 가산기의 계산시간을 T_{a1} , WUD 블럭의 가산기 계산시간을 T_{a2} 라고 하고 최소의 직렬 적응필터의 샘플주기 T_{serial} 은

$$T_{serial} = 3T_m + 2T_{a1} + (N+2)T_{a2} \quad (5)$$

로 표현할 수 있다.

여기서 1 비트의 전가산기를 정상적으로 동작시켰을때 2ns 걸린다면 F블럭의 10비트 가산기는 $T_{a2} = 20ns$, WUD블럭의 8비트 곱셈기와 20비트의 가산기의 계산 속도는 각각 $T_m = 32ns$, $T_{a1} = 40ns$ 이다. 이때 파이프라인 적응필터의 입력 샘플률은 식(5)와 같으므로 $T_{serial} = 256ns$ 이다. 이에 비하여 파이프라인 적응필터의 샘플률은 $1/T$ 이다. 여기서 직렬적용필터의 동작시간은 $T_{serial} > T$ 이고 파이프라인 적응필터의 동작 계산시간은 $T_{pipe} \leq T$ 이다. 따라서 파이프라인적용필터는 식(6)에 따라 동작 속도의 증가(SU)를 얻을 수있다.

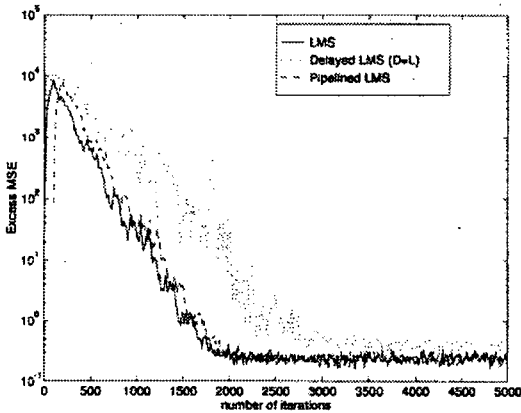
$$SU = T_{serial} / T_{pipe} \quad (6)$$

4.2 수렴 성능

적용필터의 성능을 측정하기위하여 적응LMS알고리즘과 같이 평균제곱오차 MSE(Mean Squared Error) 평가기준을 사용하였다. MSE 평가 기준을 최소화 하기 위한 최적필터의 계수는 식 (3), (4)를 이용하였고 식의 μ 는 적응속도와 안정성을 결정하는 상수로 스텝크기(step size)라 부르며 너무 큰 값을 설정하면 추정오차가 발생하게 되고 또 너무 작게 잡으면 수렴속도는 늦는반면 수렴후의 진동폭이 작다. 일반적으로 LMS알고리즘이 안정적으로 수렴하기 μ 값의 상한선은 입력신호의 상관행렬의 고유치(eigenvalue)에 의해서 결정된다 즉

$$\frac{1}{\lambda_{max}} > \mu > 0$$

을 만족하는 μ 를 설정한다. 여기서 λ_{max} 는 입력신호의 상관행렬의 고유값 중 최대값이다. 그림 6은 LMS, 지연 LMS(delay LMS), 파이프라인 LMS들의 평균제곱 오차를 보여준다. 그림에서 파이프라인 LMS의 경우 일정시간 이 지난후에는 MSE가 다른 알고리즘과 비슷해지는 것을 확인할 수 있다.



V. 결론

본 논문은 고속통신시스템 수신기에서 위치하여 잡음을 제거하기위한 적응 파이프라인 LMS필터를 하드웨어로구현 하였다. 이를 위하여 파이프라인알고리즘을 적용하였고 성능 평가결과 직렬처리 알고리즘에 비하여 처음에는 결과 지연되나 일정시간이 지난후에는 처리속도가 빨라짐을 알수 있었다. 본 논문에서 소개한 시스템을 CMOS로 설계하면 저전력 시스템으로 구성할 수있다.

본 논문에서 연구한 파이프라인 적응 필터는 UTP을 사용한 초고속통신망, 고속디지털 신호처리, 고속모뎀, VDSL, ATM LAN, 다중안테나의 수신기 등에유 용하게 사용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 권승탁, 송상섭 “ 155Mbps ATM_LAN을 위한 파이프라인 NEXT 제거기 설계,”CAD 및 VLSI 설계학술논문집,p105-110, 1997 .5
- [2] K. Parhi and D. Messerschmitt, “Pipeline interleaving And pallelism in recursive digital Filters -Part I :Pipelining using scatted look-ahead and decomposition, ”*IEEE Trans. on ASSP*, vol. 37,pp.1099-1117,July 1989.
- [3] Vojin G.Oklobdzua “Circuit Implementation Techniques for the Magnetic Read/Write Channels” Project Report 2000-01: <http://ece.ucdavis.edu/acsel>.
- [4] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*. Prentice Hall, 1991.
- [5] T. Meng and D. G. Messerschmitt, “Arbitrarily high sampling rate adaptive filters,” *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 35, no. 4, pp. 455-470, 1987.
- [6] Scott C. Douglas, Quanhong Zhu, and Kent F.Smith , “ A Pipelined LMS Adaptive FIR Filter Architecture Without Adaption Delay,”*IEEE Trans. Signal Processing* vol.46,pp775-779, Mar.1998.
- [7] D. Noloney, J. O'Brien, E.O'Rourke, F.Brianti, “Lower-Power 200-Msps, Area-Efficient, Five Tap Programmable FIR Filter,” *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol.33, no 7, July 1998, pp 1134-1138.