격자트랜스버설 적응필터의 실용적 구현에 관한 연구

*유재하, 김동연
한경대학교 전자공학과
e-mail : yjh@hnu.hankyong.ac.kr

A Study on the Practical Implementation of the Lattice Transversal Joint(LTJ) Adaptive Filter.

*Jae Ha Yoo, Dong Yeon Kim
Department of Electronic Engineering
Hankyong National University

요약

본 논문은 LTJ 적응필터의 실용적 구현에 관한 연구이다. 음성코덱(codec)을 사용하는 응용분야에서는 코덱 복호화단의 LPC 계수정보를 얻을 수 있으므로 이를 반사계수로 변환하여 사용하므로서 반사계수 적응에 소용되는 계산량을 감소시킬 수 있으며, 코덱에서는 프레임 또는 서브프레임 단위로 LPC 계수를 적응시키므로 시변 변환영역 적응필터에 해당하는 LTJ 적응필터의 필터계수 보상에 필요한 계산량을 감소시킬 수 있다. 실제 음성신호를 사용하여 제안된 실용적 구현방법의 타당성을 검증하였다.

I. 서론

Least Mean Square(LMS) 적응 알고리즘을 사용하는 트랜스버설(*transversal*) 필터는 단순한 계산 특성을 갖고 있어 실시간 구현이 용이하기 때문에 많은 응용 분야에서 널리 사용되어 왔다[1]. 그러나 필터 입력신호가 상관도가 높은 신호인 경우에는 적응필터의 수렴속도가 느려지는 단점이 있어 이를 개선하기 위하여 입력신호를 격자 예측기를 통과시킨뒤 트랜스버설 필터의 입력신호로 사용하여 수렴속도를 개선시키는 적응격자필터가 제안되어 수렴 속도를 향상시킬 수 있었으며[2], 음성신호가 Auto Regressive(AR) 프로세스로 모델링 된다는 점을 사용하여 격자예측기의 일정 차수 이후의 후방예측오차신호는 단순 지연으로 간주함으로써 계산량을 감소시킬 수 있는 격자 트랜스버설 결합(LTJ: Lattice Transversal Joint) 적응필터가 제안되었다[3].

그러나 이런한 방법들은 수렴속도는 개선되지만 정상상태에서 오차신호가 크다는 문제점, 즉, 정상상태 성능이 떨어지는 단점이 있어 적용에 문제점을 갖고 있었다. [4]에서는 어느 정도 수렴이 이루어진 후에는 격자예측기의 적응을 멈춤으로서 정상상태 성능이 개선될 수 있음을 보여주었다. 그러나 음성신호는 시간에 따라 통계적 특성이 변하기 때문에 격자예측기의 적응을 멈출 수가 없다.

[5]에서는 격자예측기와 트랜스버설 필터의 1 샘플 불일치에 의해 정상상태의 성능이 저하되며, 트랜스버설 필터 계수를 보상해 줌으로서 정상상태 성능이 개선됨을 보여 주었다.[6]에서는 LTJ 적응필터를 시변 변환영역 적응필터 관점에서 보다 더 이해하기 쉽게 해석하였으며, 음성신호의 단구간 정적(stationary) 특성을 이용하여 필터계수 보상을 위한 계산량을 감소시킬 수 있는 방법을 제안하였다.

II. LTJ 적응필터

LTJ 적응필터는 아래 그림 1과 같이 입력신호 $x(n)$을 직접 트랜스버설 필터의 입력으로 사용하

는 것이 아니라 $x(n)$을 격자예측기에 통과시켜 얻은 후방예측오차신호 $b(n)$을 트랜스버설 필터의 입력으로 사용하여 필터 출력신호 $y(n)$을 얻는다. 여기서 $d(n)$과 $e(n)$은 기대신호(desired signal)와 오차신호를 나타내며, $c_m(n)$은 트랜스버설 필터의 계수를 나타낸다. $f_m(n)$과 $b_m(n)$은 각각 전방예측오차신호와 후방예측오차신호를 나타내며, $k_m(n)$은 반사계수(reflection coefficient)를 나타낸다. 격자예측기와 트랜스버설 필터의 각 신호간 관계와 적응 방정식은 [6]에 잘 표현되어 있다.

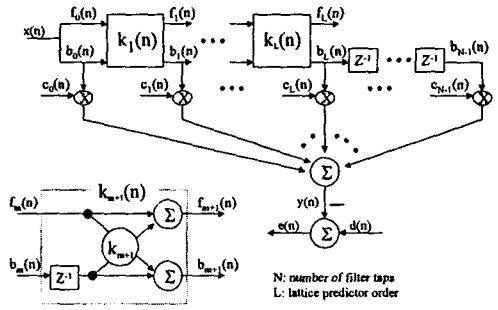

그림 1. LTJ 적응필터 블록도

LTJ 적응필터는 변환영역 적응필터로 볼 수 있으며 격자예측기의 반사계수가 계속적으로 변화하기 때문에 (1)과 같이 후방예측오차신호 생성을 위한 변환행렬 K가 시간에 따라 변화하는 $K(n)$으로 표시되는 시변 변환영역 적응필터로 해석할 수 있다..

$$b(n) = K^T(n)\,x(n) \qquad (1)$$

$K(n)$이 시변 이므로 다음과 같은 필터 계수의 보상이 필요하다[5,6].

$$K(n+1)\,c(n+1) = K(n)\,c'(n) \quad (2)$$

$$c(n+1) = K^{-1}(n+1)\,K(n)\,c'(n) \quad (3)$$

필터계수 보상을 위한 계산량은 2LN 이다[5,6]. 이 때, N은 적응필터의 차수, L은 격자예측기 차수이다. 트랜스버설 필터의 계산량이 3N임을 고려하면 매우 많은 계산량이 추가로 요구되어 LTJ적응필터의 적용이 매우 어렵게 되므로 [6]에서는 음성신호의 특성을 이용하여 계산량을 감소시키는 방법을 제안하였다.

III. 실용적 구현 방법

현재는 대부분의 음성시스템이 디지털로 처리되며 음성 통신 및 저장시는 음성 코덱을 사용하여 압축을 수행한다. 음성코덱은 일정시간 즉 프레임(또는 서브프레임) 단위로 음성을 버퍼링하고 압축을 수행하기 때문에 그동안은 Linear Predictive Coding(LPC) 계수가 변하지 않게 되므로 LTJ 적응필터의 반사계수를 매 샘플마다 적응시키지 않아도 된다. 또한, 음성통신시스템과 같이 구현될 경우 음성코덱의 복호화단으로부터 LPC 계수 정보를 얻어낼 수 있기 때문에 이를 반사계수로 변환하여 적용하므로서 반사계수의 추정도 필요없게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 특성을 ITU-T G.723.1 음성코덱을 사용하는 경우에 적용하므로서 매우 실용적인 LTJ 적응필터의 구현이 가능함을 제시하였다.

G.723.1 음성부호화기의 표본화율은 8kHz, 1프레임이 30ms 이며 1개의 프레임은 4개의 서브프레임으로 나누어진다. 또한, 각 서브프레임에서 LPC계수를 계산하여 Line Spectrum Pair(LSP) 형태로 저장한다. 또한, 부호화하여 실제 전송하는 LPC 정보는 한프레임당 1번만 보내며 복호화단에서는 이를 이전 프레임의 LPC계수와 보간하여 사용하게 된다. 그러므로 매 서브프레임마다 복호화기로부터 LPC 계수를 얻어내고 이를 반사계수로 변환하여 직접 LTJ 적응필터에 적용할 수 있다. 또한, 서브프레임은 60샘플(7.5ms)이므로 필터계수 보상을 위한 계산은 60번에 한번만 해주면된다. (표 1)에서는 트랜스버설필터, 매샘플 반사계수를 적응시키고 필터계수 보정을 하는 LTJ적응필터와 본 본문에서 제안한 G.723.1 음성코덱 정보를 사용하는 방법에 대한 계산량을 비교하여 나타내고 있다.

(표 1) 계산량 비교
(N: 적응필터 차수, L:격자예측기 차수)

Ⅳ. 실험 및 결과

실제 음성신호를 사용한 시뮬레이션을 수행하여 제안된 방법의 타당성을 검증하였다. 플랜트와 적응필터 탭수 N은 30, 필터출력신호 대 배경잡음 비는 40dB로 하였다. 성능은 반향제거기에 사용되는 ERLE(Echo Return Loss Enhancement)를 사용하여 표현하였다.

	Multiplication
트랜스버설 필터	3N
LTJ-적응필터	3N+9L+2LN
LTJ-적응필터 (제안된 실용적 방법)	3N+(1/3)N

그림 2는 실제 음성을 사용한 경우의 실험결과이다. 그림 (b)는 트랜스버설 필터의 ERLE곡선을, (c)는 LTJ 적응필터의 ERLE곡선을 그리고 (d)는 제안한 방법의 수렴 곡선을 계수 보상을 서브프레임 단위로 해 준 경우이다. (c),(d)는 (b)에 비해 매우 빠른 수렴속도를 나타냄을 알 수 있다. 즉, 전통적인 LTJ 적응필터와 제안된 LTJ 적응필터는 모두 다 트랜스버설 필터에 비해 매우 빠른 수렴 특성을 가짐을 알 수 있다. 반면 (c)와 (d)는 성능 차이가 거의 없음을 볼 수 있다. 제안된 방법은 전통적인 LTJ 적응필터에 비해 매우 적은 계산량을 필요로 하며 트랜스버설 필터에 비해서는 약 10% 정도의 계산량이 증가함을 알 수있다. 그러므로 제안된 방법은 트랜스버설필터에 비해 적은 계산량 증가만으로도 매우 큰 수렴성능 향상을 가질 수 있음을 알 수 있다.

Ⅴ. 결론

본 논문에서는 음성코덱의 LPC 계수 정보로부터 반사계수를 얻어내어 사용하므로서 LTJ 적응필터의 계산량을 대폭 감소시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 반사계수를 적응시키지 않을 뿐만 아니라 서브프레임 단위로 필터계수 보상을 수행하므로서 기존의 LTJ적응필터의 계산량을 대폭 줄일 수 있어 매우 실용적인 구현 방법이다.

참고문헌

1. S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 3rd Edition, Prentice-Hall, 1996.
2. E. H. Satorious and S. T. Alexander, "Channel Equalization using adaptive lattice algorithm," *IEEE Transactions on Communication*, **COM-27**, 899-905, Jun, 1979.
3. Jae-Ha Yoo, Sung-Ho Cho and Dae-Hee Youn, "An Acoustic Echo Cancellation Based on the Adaptive Lattice-Transversal Joint (LTJ) Filter Structure," *IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, **E81-A** (9), 1951-1954, 1998.
4. B. Farhang-Boroujeny, *Adaptive Filters Theory and Applications*, chapter 11, John Wiley & Sons, 1998.
5. Naoki Tokui, Kenji Nakayama and Akihiro Hirano, "A Synchronized Learning Algorithm for Reflection Coefficients and Tap Weight In a Joint Lattice Predictor and Transversal Filter," *Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing 2001*, 3741-3744, 2001.
6. 유재하 "격자 트랜스버설 결합(LTJ) 적응필터의 새로운 해석과 계산량 감소 방법",한국음향학회
7. Douglas O'Shaughnessy, *Speech Communication Human and Machine*, chapter 6, Addison Wesley, 1987.

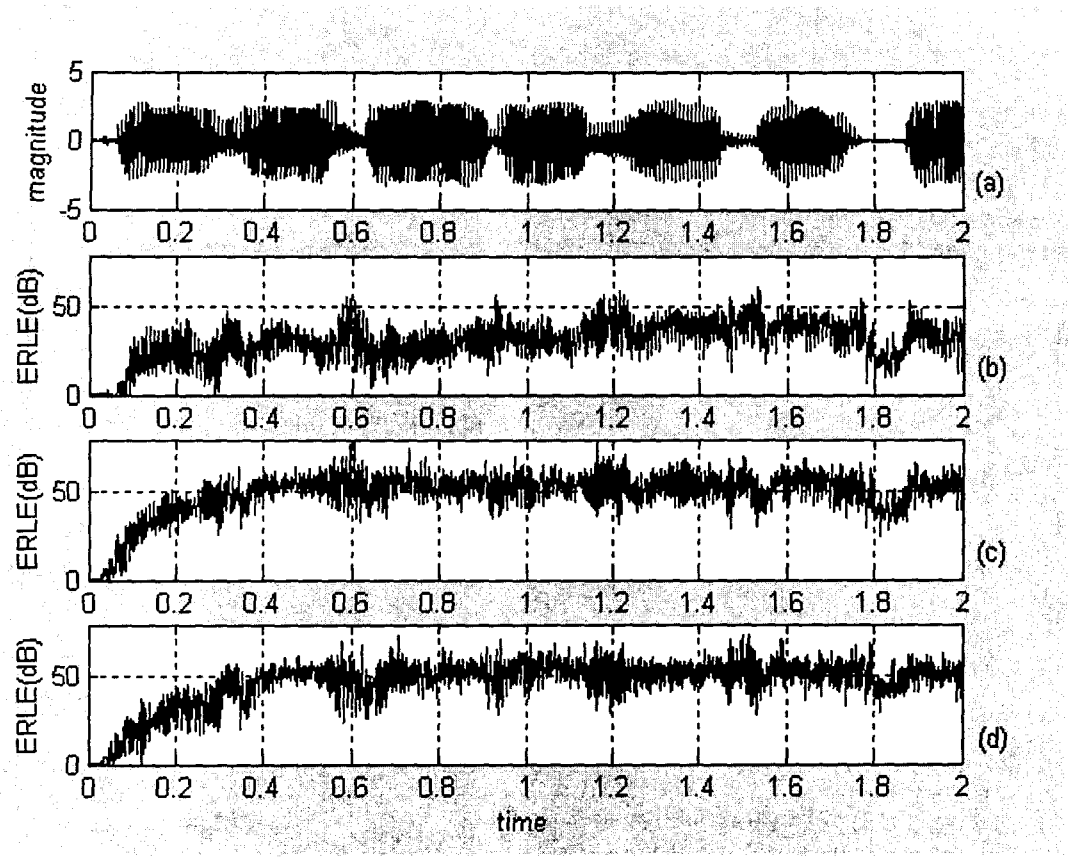

그림 2. 성능 비교

(a) 입력신호

(b) ERLE : 트랜스버설 필터

(c) ERLE : LTJ-conventional

(d) ERLE : LTJ-proposed