

# 실수 훈련신호를 이용한 반향제거기 초기화

정민호\* 이용환

서울대학교 전기공학부

(151-742) 서울특별시 관악구 신림동 산 56-1

E-mail : ylee@plaza.snu.ac.kr

## Initialization of echo canceller using real training signal

Min-ho Cheong\* and Yong-Hwan Lee

School of Electrical Eng., Seoul National University

San 56-1 Shillim-Dong Kwanak-Ku, Seoul 151-742, Korea

### 요약

전화선을 이용한 V.34 고속 모뎀에서는 반향신호(echo signal)를 65dB정도까지 감소시키는 것이 요구된다. 이를 위해 특정 훈련신호를 가지고 자기상관 함수(auto-correlation)를 사용하여 반향제거기(echo canceller)를 초기화하는 방법이 알려져 있다. 그러나 이 방법은 실수신호를 사용할 수 없을 뿐 아니라 추정경로 길이의 2배만큼 훈련신호를 전송하여야 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 circular convolution사용 초기화 방법을 제안함으로써 훈련신호의 실수신호 설계를 가능케 한다. 이 방법은 반향제거기 초기화의 연산량을 대폭 감소시킬 뿐 아니라 초기화 속도도 기존의 방법보다 더욱 향상시키는 방법이다. 본 논문에서는 이의 성능을 분석하고 전산모의실험을 통해 기존의 방법과 비교한다.

### 1. 서론

공중전화망을 이용한 음성대역 모뎀 데이터 송수신의 경로는 전화국간의 국간 전송 및 모뎀과 전화국을 연결하는 2선의 가입자 선로(local loop)로 구성되어 있다[1]. 이들을 연결하는 4선-2선 하이브리드에서는 임피던스 정합이 이루어져야 함이 원칙이나, 하이브리드에 걸리는 부하의 임피던스가 모뎀간의 접속경로에 따라 변하게 되므로 임피던스 정합이 이루어지지 않게 되어 누설성분이 생기게 되는데 이를 반향(echo)이라 한다. 반향에는 모뎀과 가입자 선로의 연결에서 누설되는 근반향(near echo)과 전화국의 끝단(end-office)에서 발생하는 원반향(far echo)이 있다. 이러한 반향은 송수신신호의 주파수 대역과 겹칠 경우, 수신신호의 검출 성능을 현저히 저하시키게 된다. 따라서 주파수 대역 효율을 떨어뜨리지 않으면서 반향의 영향을 제거하기 위하여 반향제거기가 사용된다.

일반 공중전화망을 이용하는 V.34 모뎀의

경우, 최대 65dB 정도의 반향제거가 필요하다[2]. 일반적인 LMS(Least Mean Square) 훈련 방식에 의하여 이러한 수렴성능을 얻으려면 매우 긴 훈련시간이 필요하여 모뎀의 접속시간이 길어지는 원인이 된다[3]. 이를 해결하기 위하여 RLS (Recursive Least Square) 훈련방법[4], DFT방법[5], correlation 방법[6] 등의 여러가지 반향제거기 초기화 방안이 제안되었다. RLS 훈련은 수렴속도는 빠르나 필요한 연산량이 매우 많고, DFT 방법은 간단하게 초기화할 수 있는 반면에 고정 소수점 DSP로 구현하기에 적합하지 않다는 단점이 있다. 따라서 최근에는 correlation을 이용한 반향경로 추정방식이 널리 쓰인다.

Correlation을 이용한 반향경로 추정을 위해서는 특별한 자기상관(auto-correlation)함수를 갖는 신호를 사용해야 한다. 이중 널리 알려진 것으로는 polyphase 신호[7],[10]와 Long이 제안한 신호[6] 등이 있다. 그러나 polyphase신호를 사용하기 위해서는 위상분리 필터(phase

splitting filter)가 필요하고 이 필터의 성능에 의해 반향제거기의 성능이 제한된다. Long이 제안한 신호는 반향제거 성능은 좋지만 신호의 주기에 비하여 추정가능한 경로의 길이가 절반밖에 되지 않는다는 단점이 있다. 또한 이 신호들은 모두 복소수 신호들로서 실수 신호에 비하여 초기화에 필요한 연산량이 4배 이상이 된다. 기존의 자기상관 함수방법으로는 실수신호의 설계가 가능하지 않으므로 본 논문에서는 이 대신 circular convolution을 사용하는 초기화 방법을 제안함으로써 실수신호의 설계를 제안하였다.

2장에서 기존의 자기상관 함수 초기화 방법을 보인 이후에, 3장에서는 제안하는 초기화 방법과 실수신호 설계 과정을 상술한다. 이에 대한 모의실험 결과를 4장에서 보이고 결론을 5장에서 맺는다.

## 2. 자기상관 함수에 의한 초기화

Correlation을 이용한 초기화 방법은 자기상관함수가 주기적인 임펄스 함수를 갖는 특성 신호를 필요로 한다. 식(1)과 같은 특성을 갖는 초기화 신호  $p(n)$ 을 생각하자.

$$p(n) \otimes_L p(n) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} \delta(n+jL) \quad (1)$$

여기서  $\otimes_L$ 은 L주기 cyclic correlation 연산을 나타낸다. 이 신호의 주파수 응답은 전 대역에서 일정한 간격의 주파수 성분들을 가진다. 이 초기화 신호  $p(n)$ 을 전송하였을 때, 반향경로  $h(n)$ 을 통과하여 수신단에 입력되는 반향을  $y(n)$ 이라 하자.

$$\begin{aligned} y(n) &= \sum_{k=0}^{\infty} h(k)p(n-k) + v(n) \\ &= h(n) * p(n) + v(n) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $v(n)$ 은 부가적인 배경잡음이고,  $*$ 는 컨볼루션을 의미한다. 반향경로의 임펄스 응답보다 초기화 신호의 주기 L이 충분히 크다고 가정할 경우,  $y(n)$ 을  $p(n)$ 과 correlation시키면 반향경로 추정치  $\tilde{h}(n)$ 은

$$\tilde{h}(n) = h(n) + \frac{1}{L\sigma_p^2} \sum_{m=0}^{L-1} v(m)p(m-n) \quad (3)$$

과 같이 구할 수 있다. 여기서  $\sigma_p^2$ 는 초기화 신호의 전력이다.

Correlation 사용 초기화에 사용되는 신호로는 polyphase 신호와 이를 변형하여 최근에 Long이 제안한 신호(이하 Long신호라 하자)를 들 수 있다. polyphase 신호는 복소수 신호상에

서만 자기상관 특성이 성립하므로 입력이 실수 신호인 in-band Nyquist 반향제거기에 적용하기 위해서는 위상분리 필터(phase splitting filter)를 사용하여야 하므로 필터의 성능이 반향제거기 초기화 성능을 제한한다[9]. 이 문제를 해결하기 위하여 Long은 polyphase신호를 변형하여, 실수부분만 취한 상태에서 correlation을 하여도 그 결과가 주기적인 임펄스 함수를 갖는 신호를 설계하였다[6].

Long신호는 실수부분과 허수부분 사이에도 특별한 correlation 성질을 부여한 것으로서 correlation 이전에 미리 위상분리 필터 처리를 할 필요가 없다. Long신호  $g(n)$ 의 실수부분과 허수부분을 각각  $g_R(n)$ 과  $g_I(n)$ 이라고 하면 이들 간에는 식(4)와 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} g_R(n) \otimes_{2L} g_R(n) &= \sum_{j=-\infty}^{\infty} \delta(n+jL) \\ g_I(n) \otimes_{2L} g_I(n) &= \sum_{j=-\infty}^{\infty} \delta(n+jL) \\ g_R(n) \otimes_{2L} g_I(n) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $g(n)$  신호의 주기는 2L로서 짝수값이다. 주기가 2L인 Long신호를 사용하여 correlation하면 한 주기 correlation이 두 부분으로 나뉘는데, 이 두 부분은 원반향 경로 응답의 부호가 서로 반대일 뿐 같은 크기를 갖는다. 따라서, 주기가 2L인 Long신호를 사용하여 추정할 수 있는 반향경로의 길이는 L이다. 2L길이의 한 주기 correlation 결과에서 앞에서부터 L개를 취하면 반향경로를 추정할 수 있다.

Long신호는 기존의 방식보다 우수하나, 실수 신호 상태에서도 성립되는 자기상관 함수 특성을 제공하기 위하여, L주기 추정을 위한 신호주기가 2L이 되는 단점을 갖고 있다.

## 3. Circular convolution을 이용한 실수 혼련신호 설계

Long은 복소수 신호를 이용하여 자기상관 함수가 주기적 임펄스인 특성을 얻었지만, 같은 특성을 실수 신호로 얻을 수 있다면 연산의 복잡성을 크게 줄일 수 있다. 자기상관 특성이 주기적인 임펄스 함수인 실수신호는 임펄스 신호가 유일하다. 그러나 임펄스 신호는 PAR (Peak-to-Average Ratio)이 커서 일정한 침투치 전력에 대하여 송신전력이 작으므로 사용하기 어렵다.

Correlation을 이용한 초기화 방법에 사용되는 신호에 대해서 지금까지는 자기상관 함수만 고려하였다. 그러나 이를 서로 다른 두 신호간의 circular convolution으로 관점을 전환해도 아무런 문제가 없다. 자기상관 함수가 아니라

circular convolution이 주기적 임펄스를 갖는 서로 다른 신호쌍  $p_1(n)$ 과  $p_2(n)$ 이 존재한다고 가정하면 식(5)와 같이 쓸 수 있다.

$$p_1(n) *_{L} p_2(n) = \delta(n) \quad (5)$$

여기에서  $*_{L}$ 는 circular convolution을 나타낸다. 식(5)는 원하는 circular convolution 특성을 얻을 수 있도록 송신단 전송신호  $p_1(n)$ 과 수신단의  $p_2(n)$ 신호를 다르게 설계할 수 있음을 보여준다. 자기상관 함수를 써서 반향 경로를 추정하려면 사용할 수 있는 실수 신호가 임펄스 밖에 없었으나, circular convolution을 사용할 경우 식(5)를 만족하기만 하면 어떠한 신호쌍도 유효한 것이다.

시간축 상에서의 circular convolution은 주파수 응답신호의 곱으로 표시된다. L주기의 실수 신호  $p_1(n)$ 이 Fourier 급수로 표현되므로  $p_2(n)$ 신호는  $p_1(n)$ 신호를 이용하여 나타내어진다.

$$p_1(n) = \sum_{k=0}^{L-1} [ A_k \cos(\frac{2\pi kn}{L}) + B_k \sin(\frac{2\pi kn}{L}) ] \quad (6)$$

$$p_2(n) = IDFT \{ 1/DFT(p_1(n)) \}$$

여기서  $A_k, B_k$ 는 Fourier 계수들이고, IDFT는 Inverse DFT이다.

식(6)의  $p_1(n)$ 신호를 구성하는 L개의 Fourier 계수를 결정하는 데에는 추가적으로 고려할 조건이 필요하다. 신호의 PAR이 크면 같은 평균 송신전력을 유지하기 위해 송신신호의 첨두치 전력을 크게 해야 하며 또한 고정 소수점 구현시 신호의 해상도에 대한 손상이 심하다. 따라서 PAR을 최소화하도록 초기화 신호  $p_1(n)$ 의 계수들을 결정하여야 한다. 실수 신호는 구형파일 경우 최소의 PAR값인 1을 갖는다.

주기가 L인 구형파  $s(n)$ 의 주파수 응답은 식(7)과 같이 sinc 함수와 유사한 형태로 나타난다.

$$DFT[s(n)] = 2 \frac{\sin[\frac{\pi(L+1)k}{2L}]}{\sin(\frac{\pi k}{L})} e^{-j\pi(L+1)k/2L} - 2\pi\delta(k) \quad (7)$$

그러나 이  $s(n)$ 신호를 초기화 신호  $p_1(n)$ 으로 사용하면  $s(n)$ 의 주파수 응답이 영점(null)이 되는 주파수에서, 신호쌍인  $s_2(n)$ 의 큰 값으로 백색잡음이 증폭되어 잡음 증폭 현상(noise enhancement)이 발생하게 된다.

이와 같은 구형파의 단점을 해결하기 위해서는 복소수 신호상에서의 chirp신호처럼, 서로 다른 주기의 주기신호들을 합성하여야 한다. 본 논문에서는 구형파의 주기를 선형적으로 변화 시키가면서 신호구간내에서 연결시키는 방법을 제안한다. 제안 방법의 알고리즘은 다음과 같다.

1. [1,-1]값을 갖는 구형파로 시작한다.
2. 이에 [1,1,-1,-1]값의 구형파를 연결시킨다.
3. 계속하여 연결되는 구형파의 주기는 선형적으로 증가된다.
4. 연결될 구형파의 주기가 신호구간의 남은 길이보다 큰 경우에는 0값을 채워 넣는다.

이 방법에 의하면 여러 주기의 파형이 중첩된 효과를 얻어 비교적 고른 주파수 스펙트럼을 얻을 수 있으며 영점이 생기는 문제도 상당부분 극복할 수 있다. 위 알고리즘에 의하여 발생시킨  $p_1(n)$ 신호와 그의 신호쌍인  $p_2(n)$ 신호의 시간축 응답과 주파수 응답은 각각 그림 1, 2와 같다. 여기서 실선은  $p_1(n)$ , 점선은  $p_2(n)$ 을 나타낸다.

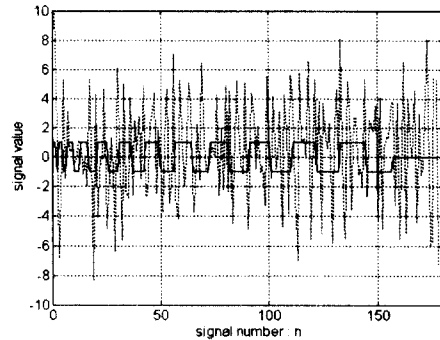


그림 1.  $p_1(n), p_2(n)$ 신호의 시간축 응답

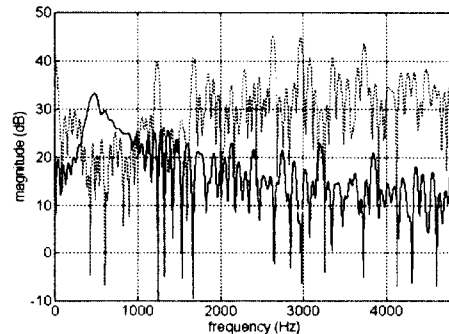


그림 2.  $p_1(n), p_2(n)$ 신호의 주파수 응답

#### 4. 모의실험 결과

기존의 Long신호 사용 초기화와, 제안된 신호를 사용한 초기화를 배경잡음의 전력에 따라 성능을 비교하였다. 제안한 신호를 이용한 방법은 반향제거의 성능이 65dB로 Long신호 사용 시보다 3dB 떨어진다. 이는 Long신호가 주파수 축상에서 완전히 백색 스펙트럼인 반면, 제안한 실수 신호는 구형파 합성 결과, 불완전한 백색 스펙트럼이 다수의 잡음 증폭을 일으키기 때문이다. 그러나, 이 성능도 실제 고속 모뎀의 요구 수준을 만족하는 것이며, 한편 3dB차이도 고속 모뎀의 반향제거기 초기화 이후에 연속되는 훈련시간을 감안하면 무시될 수 있다[9].

그러나, 초기화 소요시간에 있어서는 제안된 방법이 30-40% 절감효과를 보인다. 또한 제안된 신호는 최소의 PAR값인 1을 가지는 신호로서, PAR이 2보다 큰 Long신호에 비하여 고정 소수점 구현시 해상도에 있어서 뛰어나며, 또한 실수 신호이기 때문에 복소수 신호인 Long신호보다 초기화에 필요한 연산량이 1/4이하라는 장점도 갖추고 있다.

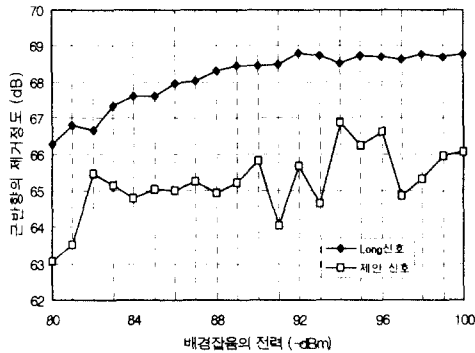


그림 3. 제안된 방식에 의한 초기화 성능

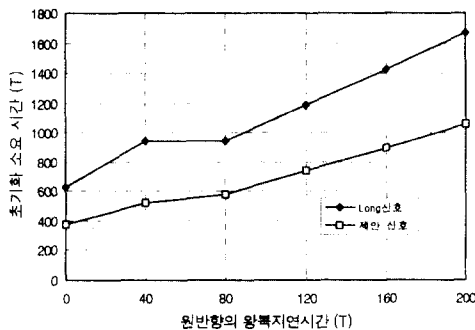


그림 4. 원반향 왕복지연시간에 따른 훈련시간

#### 5. 결론

본 논문에서는 초기화 속도와 연산량에 문제가 있었던 기존의 자기상관 함수사용 초기화 방법대신, 전송 신호와 결합 신호를 다르게 함으로써 circular convolution을 이용하는 새로운 접근을 도입하였다. 이로써 실수신호 설계가 가능하다. 이 방법은 기존의 방법과 비슷한 성능에서 PAR을 최적화할 뿐 아니라, 초기화 소요시간이 이전보다 30-40% 절감된다. 본 논문에서 제안된 신호의 발생 알고리즘은 초기화 시에 발생하는 잡음증폭을 감소시키기 위한 추후 연구가 필요하다.

#### 참고 문헌

- [1] Members of Technical Staff Bell Telephone Laboratories, "Transmission Systems for Communications," *Bell Telephone Labs.* 1982.
- [2] ITU-T, "V.34--A modem operating at data signalling rates of up to 28,800 bit/s for use on the general switched telephone network and on leased point-to-point 2-wire telephone-type circuits," *ITU-T Recomm.*, pp. 32-52, 1994.
- [3] D. Messerschmitt, "Echo cancellation in speech and data transmission," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, pp. 283-297, Mar. 1984.
- [4] M.L. Honig, "Echo cancellation of voiceband data signals using recursive least squares and stochastic gradient algorithm," *IEEE Trans. Comm.*, pp. 65-73, Jan. 1985.
- [5] J.M. Cioffi, "A fast echo canceller initialization method for the CCITT V.32 modem," in *Proc. IEEE GLOBECOM'87, Tokyo*, pp. 1950-1954, Nov. 1987.
- [6] G. Long and F. Ling, "Fast initialization of data-driven Nyquist in-band echo cancellers," *IEEE Trans. Comm.*, pp. 893-903, June 1993.
- [7] D.C. Chu, "Polyphase codes with good periodic correlation properties," *IEEE Trans. Inform. Theory*, pp. 531-532, July 1972.
- [8] A. Milewski, "Periodic sequences with optimal properties for channel estimation and fast start-up equalization," *IBM J.Res.Develop.*, pp. 426-431, Sept. 1983.
- [9] 정민호 이용환, "훈련신호에 따른 반향제거기의 초기화 특성," *신호처리합동 학술대회 논문집*, pp. 27-30, 1996년.
- [10] R. L. Frank and S. A. Zadoff, "Phase shift pulse codes with good periodic correlation properties," *IRE Trans. Inform. Theory*, pp. 381-382, Oct. 1962.