

# 훈련 신호에 따른 반향제거기의 초기화 특성

정민호, 이용환

서울대학교 전기공학부

(151-742) 서울특별시 관악구 신림동 산 56-1

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

## Initialization Performance of Echo Canceller Training Signals

Minho Cheong, Yong-Hwan Lee

School of Electrical Eng., Seoul National University

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

### 요약

V.34급 고속 음성대역 모델에서는 고성능의 반향제거기 초기화를 필요로 한다. 이를 구현하기 위하여 V.34 권고안에서는 반향제거기를 위한 MD라는 초기화 신호구간을 정의하고 있다. 본 논문에서는 MD구간을 사용하지 않고도 등화기 초기화를 위하여 정의되었던 PP구간을 활용하여 반향제거기를 초기화하는 방법을 제안한다. 그리고 이를 MD구간 사용 초기화 방법과의 비교를 통해 그 성능을 검증한다.

### 1. 서론

전화선을 통한 데이터 통신에서는 4선-2선 접속 하이브리드에서의 임피던스 부정합으로 말미암아 반향(echo)이 생긴다. V.34급 고속 통신에서는 -9dBm으로 송신된 신호가 최악의 경우 34dB만큼 감쇄될 수 있는 반면, 수신단에서 입력되는 반향의 감쇄는 6dB에 불과할 수도 있어 반향이 수신신호보다 오히려 28dB가 크다. 이 반향을 수신신호의 잡음 수준으로 낮추기 위해서는 반향제거기가 65dB정도까지 반향을 제거해야 한다.

LMS(least mean square)훈련방법으로 이 성능을 만족하도록 수렴시키려면 수초의 긴 훈련시간이 필요하며 이는 초기 모델의 긴 접속시간의 주원인이었다. 지난 수년간 반향제거기를 짧은 시간안에 수렴시키는 방안으로 여러가지 개선책이 나왔다. 그 예로 RLS(recursive least square) 훈련을 통한 반향제거기 수렴방법이 오랫동안 논의되었으나([1]-[3]), 이는 연산요구량이 너무 많아 구현에 적합하지 못하다. 최근에는 Cioffi가 DFT(discrete Fourier transform)를 사용한 반향제거기 초기화 방법을 제안했으나[5] 이는 손쉬운 구현에도 불구하고 나누기 연산이 많아서 고정소

수점 구현시 라운딩 오류가 크다는 단점이 있다. 이에 비하여 특정신호를 사용한 correlation방법[4]은 연산량도 적고 고정 소수점 구현에도 안정적이어서 반향제거기 초기화에 적합하다. 이 특정신호중에서도 Milewski의 연구에 의하면,[9] correlation결과가 주기적인 임펄스인 신호가 pseudorandom신호등 그렇지 않은 다른 신호에 비하여 초기화에 뛰어난 성능을 보인다. 위와 같은 이유로 인하여 V.34 권고안에서는 이러한 신호를 반향제거기의 초기화를 위하여 정의할 수 있는 MD신호구간(manufacturer define)을 두고 있으며[8], 이에 주로 쓰이는 신호는 polyphase신호[6] 및 Guozhu가 제안한 신호[7]이다.

이 MD구간을 이용하여 반향제거기를 초기화하면 초기화 성능을 제대로 얻을 순 있지만 별도로 발생시키는 MD신호구간의 길이가 너무 길게 된다는 단점이 있다. V.34 권고안에는 MD구간외에 등화기의 초기화를 위해 정의된 PP(polyphase)신호구간이 있는데, 이 PP신호역시 correlation결과가 주기적인 임펄스인 신호이다. 이 PP구간을 반향제거기의 초기화에도 활용할 수 있다면 MD신호를 별도로 발생시켜야 하는 부담을 덜 수 있을 것이다.

본 논문에서는 V.34모델에서 MD구간을 사용하여 반향제거기를 초기화하는 경우와, PP구간을 활용하여 등화기 초기화와 병행하여 모델의 반향제거기를 초기화하는 경우를 비교분석한다. 이를 반향경로의 왜곡 및 원단반향신호(far-end echo signal)의 주파수 편이(phase roll)등의 다양한 환경상에서의 비교를 통하여 초기화의 두 방법간에 결론을 내리고 더 나아가 이를 가지고 반향제거기 초기화를 위한 훈련신호의 요구조건을 제시한다.

2장에서는 MD구간사용 반향제거기 초기화, 3장에서는 PP신호를 사용한 반향제거기 초기화를 제시하고 분석한다. 4장에서는 이 두 초기화 방법 성능의 이론치/실험치 비교 및 상호비교에 대한 모의실험결과

를 보인다. 마지막 5장에서는 성능비교결과에 대한 결론을 제시한다.

## 2. MD구간사용 초기화

V.34모뎀 접속과정에서 반향제거기 및 등화기의 훈련을 위한 과정은 그림1과 같다.[8]

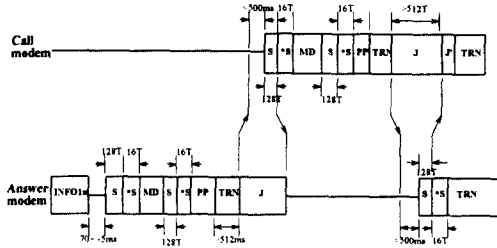


그림1. V.34의 반향제거기 및 등화기 훈련과정

그림1에서 S\*S구간은 송수신기 동기를 맞추기 위한 신호구간이며 MD와 PP구간은 서론에서의 설명과 같이 각각 반향제거기와 등화기의 초기화를 위한 신호전송구간으로서 MD구간의 길이와 발생신호는 제작자가 정할 수 있다. 그 뒤의 TRN구간은 반향제거기와 등화기의 초기화 이후의 추가 수렴을 위한 구간이다. MD구간에 도입되는 신호는 자기상관함수(auto-correlation)가 임펄스 주기이고, far-end echo의 왕복지연시간(round-trip delay)에 따라 신호주기를 조정할 수 있는 특성을 가져야 하는데, 대표적인 신호로는 Guozhu가 제안한 신호와 polyphase신호등이 있다.

왕복지연시간에 따라 MD사용신호의 주기를 조정하는 알고리즘으로는 인터리빙 알고리즘[7]이 널리 쓰인다. 이는 신호의 주기를 반향경로의 임펄스 응답보다 길게 하면서, 또한 근단반향(near-end echo)과 원단반향(far-end echo)이 겹치지 않도록 하여 초기화 성능의 저하를 막도록 하는 알고리즘이다.

원단반향의 주파수 편이(phase roll)가 없을 때, 주기가 L인 훈련신호 p(n)을 사용하면 correlation을 통하여 경로 추정  $h_{est}(n)$ 은 수신된 신호 y(n)으로부터 식(1)과 같이 얻을 수 있다.  $h_N(n)$ 은 근단반향경로의 임펄스 응답이고  $h_F(n)$ 은 원단반향경로의 임펄스 응답이며 v(n)은 잡음이다.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{\infty} (h_N(k) + h_F(k))p(n-k) + v(n)$$

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

여기서  $h(n) = h_N(n) + h_F(n)$ 이다

$$\sigma_{h_{est}}(n)^2 = \frac{\sigma_v^2}{L\sigma_p^2} \quad (2)$$

추정한 L길이 경로 추정치중 W길이만큼 취하여 반향제거기를 초기화했을 때 얻어지는 잔여반향의 전력은 다음과 같다.[4]

$$E[e(n)^2] \approx (1 + \frac{W}{L})\sigma_v^2 \quad (3)$$

phase roll이 있는 경우에는 원단반향신호가 시간에 따라 복소수 좌표상에서 계속 돌아가므로 한 주기의 correlation결과를 가지고서는 근단반향경로와 원단반향경로를 각각 추정해 낼 수가 없다. 초기화를 위해서는 적어도 세 주기 이상의 correlation결과들이 필요하다.

$$h_k(n) = h_N(n) + h_F(n)e^{j(k\omega_0 T_0)} \quad k=1, 2, 3 \quad (4)$$

여기서,  $h_N(n)$ 과  $h_F(n)$ 은 각각 근단/원단반향경로이고,  $h_k(n)$ 은 k번째 주기 correlation결과이며  $\omega_0$ 는 phase roll 주파수,  $T_0$ 는 한 주기 동안의 시간간격이다.

위의 세 correlation결과들을 서로 빼 주고 나눴으로써 phase roll을 추정할 수 있게 되며, 이 phase roll 추정치를 이용하여 원단반향경로와 근단반향경로의 임펄스 응답을 차례차례 구할 수 있다. 각각 근단반향경로와 원단반향경로의 초기화 결과인  $h_{Ninit}(n)$ 과  $h_{Finit}(n)$ 는 식(5),(6)과 같다.

$$h_{F_{ini}}(n)e^{2j\omega_0 T_0} = (h_3(n) - h_2(n)) * \frac{e^{j\omega_0 T_0}}{e^{j\omega_0 T_0} - 1} \quad (5)$$

$$h_{N_{ini}}(n) = h_3(n) - h_{F_{ini}}(n)e^{2j\omega_0 T_0} \quad (6)$$

## 3. PP구간 활용 초기화

등화기를 초기화하기 위한 훈련신호로 지정된 PP신호는 주기가 심볼구간의 48배로 정해져 있고, chirp신호이며 자기상관함수가 주기적인 임펄스라는 성질을 갖고 있다. PP신호의 발생식은 다음과 같다.[8]

$$PP(i) = \begin{cases} e^{j\pi(kl+4)/6} & k \text{를 3으로 나눈 나머지가 1일때} \\ e^{j\pi(kl)/6} & \text{그외의 경우} \end{cases} \quad (7)$$

여기서, l은 1부터 48까지의 자연수이고, k와 l은 l을 4로 나눈 몫과 나머지가다.

PP신호를 사용하여 반향제거기를 초기화할 때에는 모뎀접속과정중 MD구간 및 그 앞의 신호구간(처음 등장하는 S와 \*S)의 길이를 0으로 지정하고, MD구간 대신에 PP신호를 사용한 반향제거기 초기화로 바로 들어간다. PP신호구간동안 6주기의 PP신호를 송신하게 되는데 이는 MD구간을 이용한 반향제거기 초기화의 경우보다 시간적으로 짧으므로 나머지 시간에 LMS훈련을 추가로 할 수 있다.

PP신호는 주기가 정해져 있기 때문에 반향경로의 임펄스 응답의 길이에 따라 반향제거기의 초기화 성능이 달라진다. 일반적으로 전화선을 이용한 모뎀통신에서 반향경로의 임펄스 응답은 10-20ms내외로 PP신호주기(3200심볼율에서 15ms)보다 길 때와 짧은 때가 존재한다.

반향경로의 임펄스 응답이 짧아서 PP신호의 주기가 이보다 충분히 긴 경우에는, 인터리빙 알고리즘에 따

라 충분한 신호주기가 확보된 제작자 정의 구간이용 초기화와 초기화 성능이 다를 바 없으므로 초기화 성능이 앞의 (3)식과 같다.

반향경로의 왜곡이 심하여서 임펄스 응답이 긴 경우를 생각하면, 이 경우에는 PP신호의 주기보다도 반향경로의 임펄스 응답이 길기 때문에, correlation 결과가 그 다음 correlation결과치까지 늘어져 겹치는 현상이 나타난다. 이 때, correlation을 통하여 구한 계수는 식(8)과 같이 주어지며 잔여반향의 전력도 식(11)로 나타내어 진다

$$h_{est}(n) = \frac{1}{L\sigma_{pp}^2} \sum_{m=0}^{L-1} y(m)pp(m-n) \\ = h(n) + \sum_{j=1}^{\infty} h(n+jL) \\ + \frac{1}{L\sigma_{pp}^2} \sum_{m=0}^{L-1} v(m)pp(m-n) \quad (8)$$

$$E[h_{est}(n)] = h(n) + \sum_{j=1}^{\infty} h(n+jL) \quad (9)$$

$$\sigma_{h_{est}}(n)^2 = \frac{\sigma_v^2}{L\sigma_{pp}^2} + \sum_{j=1}^{\infty} |h(n+jL)|^2 \quad (10)$$

$$E[e(n)^2] \\ = (1 + \frac{W}{L})\sigma_v^2 + \sigma_x^2 \sum_{n=0}^{W-1} \left| \sum_{j=0}^{\infty} h(n+jL) \right|^2 \\ + \sigma_x^2 \sum_{n=0}^{W-1} \sum_{s=0}^{\infty} h(n+sL) \left( \sum_{l=0}^{\infty} h(n+lL) \right)^* \quad (11)$$

여기서,  $\sigma_x^2$ 는 초기화이후 송신신호의 전력이다.

보통, 반향경로의 길이가 PP신호의 두 주기(3200 심벌율에서 30ms)를 넘지 않는 경우 식(11)은 식(12)로 근사된다.

$$E[e(n)^2] = (1 + \frac{W}{L})\sigma_v^2 + 2\sigma_x^2 \sum_{n=0}^{W-1} |h(n+L)|^2 \quad (12)$$

식(12)의 두번째 항이 바로 제한된 주기의 PP신호를 사용함으로 인한 성능 저하를 나타내는 항이다.

이에 착안하여 PP신호를 사용할 때, MD구간사용 초기화보다 성능저하 정도에 대한 척도를 (12)식의 두번째 항과 첫 항의 비로서 정의할 수 있다. 이를 '반향경로 왜곡지수'라 명명하자..

$$\text{반향경로 왜곡지수} = \left( \sum_{n=0}^{W-1} |h(n+L)|^2 \right) * SNR \quad (13)$$

이 값이 1보다 작으면 PP신호사용 초기화의 성능이 MD구간 사용 초기화의 성능과 비슷함을 의미하고, 1보다 클수록 PP신호사용 초기화의 성능이 MD구간 초기화 성능보다 점점 뒤떨어진다.

phase roll이 있는 상황에서 PP신호를 사용한 반향제거기 초기화 방법은 다음과 같은 점에서 MD구간 초기화보다 복잡한 고려사항들이 있다.

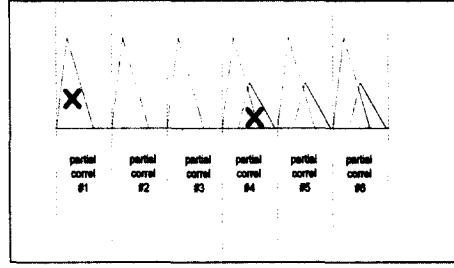


그림2. PP신호 correlation 6주기의 예

그림2는 PP신호 correlation을 통하여 얻은 6주기의 결과 계수들이다. 큰 삼각형은 근단반향경로성분, 작은 삼각형은 원단반향경로성분이며 삼각형들 중 X표된 것은 과도상태에서 correlation된 것이므로 버릴 값이다. 그림과 같은 상황에서 phase roll을 구하려면 partial#5와 partial#6를 가지고 추정을 해야 하고, 근단반향경로는 근단반향경로만 있는 partial#2와 partial#3에서 구하는 방법이 바람직하다. PP신호구간을 이용하여 반향제거기를 초기화할 때에는 왕복 지연시간에 따라 근단반향경로만의 correlation주기의 수와 근단/원단반향경로의 correlation주기의 수를 고려해야 한다.

PP신호구간을 활용하여 반향제거기를 초기화하는 경우에 생기는 잉여시간동안 LMS훈련을 함으로써 MD구간사용 초기화 방법과의 성능비교를 같은 시간 조건에서 할 수 있다. 반향제거기 탭수를 N, 수렴 스텝크기를  $\alpha$ 라 하였을 때, 시간구간 n동안 수렴한 이후의 잔여반향 전력  $E[e_n^2]$ 은 초기화 직후 잔여반향 전력  $E[e_{min}^2]$ 를 사용하여 나타내어 진다.

$$E[e_n^2] = (1 - 2\alpha + \alpha^2 N) * E[e_{min}^2] \\ + \frac{1 - (1 - 2\alpha + \alpha^2 N)}{\alpha(2 - \alpha N)} 2\alpha * \sigma_v^2 \quad (14)$$

여기서,  $\sigma_v^2$ 는 잡음 전력이다.

## 4. 모의실험 결과

V.34모뎀통신에서 원단반향의 전력은 근단반향보다 20dB작으며 이의 왕복지연시간은 31.25ms이고, 송신단에서 -9dBm로 전송된 신호가 반향경로에서 11dB 감쇄되어, 근단반향의 전력은 -20dBm이며 배경잡음은 -90dBm이라 가정하여 모의실험을 수행하였다.

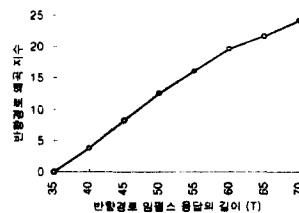


그림3. 반향경로에 따른 반향경로 왜곡지수

그림3를 볼 때, 약 37T이상의 길이를 갖는 반향경로에서는 반향경로 왜곡지수의 값이 1보다 커지게 되어 PP초기화의 성능이 MD구간 초기화보다 뒤떨어짐을 알 수 있다.

phase roll이 없을 때, 반향경로의 왜곡 정도에 따른 반향제거기 초기화 성능은 그림4에 표시되었다.

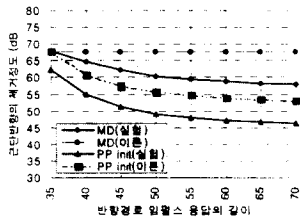


그림4. phase roll이 없는 경우의 초기화 성능

MD구간 초기화와 PP구간 초기화 MD구간 초기화의 성능차이는 반향경로의 길이가 35T로 짧을 때에는(반향경로 왜곡지수가 1보다 작을 때) 4dB 정도였으나, 반향경로의 길이가 70T로 길 때에는 10dB를 넘어섬을 알 수 있다. PP구간 초기화한 뒤 잉여 시간동안 LMS훈련을 하여 동일시점에서 MD구간 초기화 성능과 비교하니, 이 성능 차이가 5dB정도로 좁혀졌다.

phase roll이 있을 때, 반향경로의 왜곡 정도에 따른 반향제거기 수렴성능은 그림5에 나타내었다.

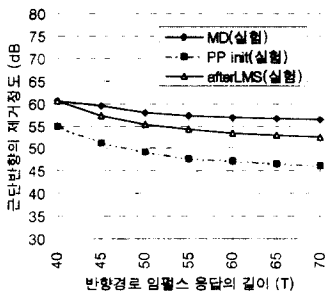


그림5. phase roll이 있을 경우(0.5Hz)의 수렴성능

phase roll이 있을 때에도 MD구간 초기화와 PP구간 초기화의 성능차이가 10dB를 넘던 값이 잉여시간 LMS를 통하여 5dB수준으로 좁혀졌음을 관찰할 수 있다.

그림6은 원단반향신호의 phase roll을 0Hz부터 1.5Hz까지 변화시켰을 때의 수렴성능을 비교한 것인데, phase roll의 크기는 반향제거기의 초기화 성능에 거의 영향을 미치지 못하다는 사실을 알 수 있다.

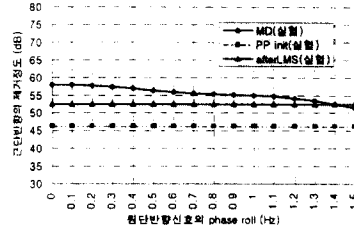


그림6. phase roll에 따른 수렴성능

## 5. 결론

본 논문에서 V.34모뎀에서의 반향제거기 초기화를 위한 두가지 방법, 즉 MD구간 사용 초기화와 PP구간활용 초기화 방법을 제시하고 비교분석하였고, 모의실험 결과를 통하여 주어진 같은 시간동안의 성능에 있어서 PP구간 활용방법이 불과 5dB정도로 MD구간 초기화 성능에 근접함을 보였다. 실제의 V.34 급속과정에서 반향제거기와 등화기의 추가훈련을 위하여 별도의 신호구간인 TRN구간이 확보되어 있는 것까지 고려하면, 이 5dB의 성능차이는 TRN구간 시간동안의 수렴과정에서 충분히 보상된다. 이를 볼 때, PP구간으로써 반향제거기를 초기화하고 TRN구간의 길이를 좀더 연장시켜 반향제거기의 원하는 수렴성능을 얻는 방법이 MD구간 초기화에 비하여 성능이 그리 뒤떨어지지 않으면서 별도의 훈련신호를 발생시킬 부담없이 반향제거기와 등화기를 동시에 초기화한다는 면에서 더 바람직하다는 결론을 내릴 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] J. Salz, "On the start-up problem in digital echo cancellers," *BSTJ*, pp. 1353-1364 July-Aug. 1963.
- [2] 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.
- [3] J.M. Cioffi and T. Kailath, "An efficient RLS data-driven echo canceller for fast initialization of full-duplex data transmission," *IEEE Trans. Comm.*, pp. 601-611 July 1985.
- [4] V. Kanchan and E. Gibson, "Measurement of echo path response," *IEEE Trans. ASSP.*, pp. 1008-1010 July 1988.
- [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] D.C. Chu, "Polyphase codes with good periodic correlation properties," *IEEE Trans. Inform. Theory*, pp. 531-532 July 1972.
- [7] G. Long and F. Ling, "Fast initialization of data-driven Nyquist in-band echo cancellers," *IEEE Trans. Comm.*, pp. 893-903 June 1993.
- [8] 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 Recommendation, pp. 32-52 1994.
- [9] A. Milewski, "Periodic sequences with optimal properties for channel estimation and fast start-up equalization," *IBM J.Res.Develop.*, pp. 426-431 Sept. 1983.