

# 선별적 경로추정을 이용한 반향제거기 초기화

정민호<sup>\*</sup> 이용환

서울대학교 전기공학부

(151-742) 서울특별시 관악구 신림동 산 56-1

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

## Initialization of echo cancellers by estimating the unknown echo path

Min-ho Cheong<sup>\*</sup> and Yong-Hwan Lee

School of Electrical Eng., Seoul National University

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

### 요약

V.34급 2선식 음성대역 모델에서 양방향 통신을 위해서는 반향(echo)을 65dB정도까지 제거할 수 있는 반향제거기(echo canceller)가 필요하다. 이러한 반향제거기의 훈련시간을 단축시키기 위해서는 효율적인 초기화가 필요한데, 자기상관함수(auto-correlation)가 주기적 임펄스 함수인 초기화 신호를 전송하여 반향의 경로를 추정하는 방법이 널리 쓰인다. 본 논문에서는 반향의 전체 경로를 일괄적으로 추정하는 기존의 방법과 달리, 반향 경로 중의 모르는 부분만을 선별적으로 추정한 후 나머지 부분과 결합시키는 방법을 제안한다. 이는 초기화 신호의 주기보다 더 긴 반향경로의 추정을 가능케 하고 필요한 연산량을 절감할 뿐만 아니라, 반향제거기 초기화 성능 및 초기화 속도도 기존의 방법보다 우수한 특성을 나타낸다.

### 1. 서론

공중전화망을 이용한 음성대역 모델 데이터 송수신의 경로는 전화국간의 국간 전송 및 모델과 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 모델간의 접속경로에 따라 변하게 되므로 임피던스 정합이 이루어지지 않게 되어 반향(echo)이라 불리는 누설성분이 생기게 되는데 이를 반향(echo)이라 한다. 반향에는 모델과 가입자 선로의 연결에서 누설되는 근반향(near echo)과 전화국의 끝단(end-office)에서 발생하는 원반향(far echo)이 있다. 이러한

반향은 송신신호의 누설성분으로서 송신신호와 주파수 대역이 겹치기 때문에 수신신호의 검출 성능을 현저히 저하시키게 된다. 따라서 공중전화망의 주파수 대역 효율을 떨어뜨리지 않으면서 반향의 영향을 제거하기 위하여 반향제거기가 사용된다.

일반 공중전화망을 이용하는 V.34 모델의 경우, 65dB 정도의 반향제거가 필요하다[2]. 일반적인 LMS(Least Mean Square) 훈련방식에 의하여 이러한 수렴성능을 얻으려면 매우 긴 훈련시간이 필요하여 모델의 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 훈

런은 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 특정한 auto-correlation함수를 갖는 신호를 사용해야 한다. 이중 널리 알려진 것으로는 polyphase 신호[7]와 Guozhu가 제안한 신호[6] 등이 있다. 그러나 polyphase신호를 사용하기 위해서는 위상분리 필터(phase splitting filter)가 필요하고 이 필터의 성능에 의해 반향제거기의 성능이 제한된다. Guozhu가 제안한 신호는 좋은 반향제거 성능을 보이지만 신호의 주기에 비하여 추정가능한 경로의 길이가 절반밖에 되지 않는다는 단점이 있다. 또한 이들 신호들을 사용하여 반향제거기를 초기화하는 기존의 방법에서는 추정할 반향경로 중 임펄스 응답을 알고 있는 경로와 그렇지 않은 경로를 구별하지 않고 일괄적으로 초기화하기 때문에 성능의 최적치는 얻지 못하는 단점이 있다. 본 논문에서는 correlation방법을 사용하여 반향제거기를 초기화할 때, 반향경로의 추정을 기지경로(known path)를 제외한 미지경로(unknown path)에 집중시킴으로써 초기화 성능을 향상시키는 방법을 제안한다.

2절에서는 음성대역 모델에서 기존에 쓰이는 반향경로 일괄추정 방법을 설명하고, 3절에서는 본 논문에서 새로이 제안하는 선별적 반향경로 추정을 이용한 초기화 방법을 제안하고 이를 해석한다. 4절에서는 제안된 방법을 사용하여 반향제거기를 초기화하였을 때의 성능을 기존 방식과 비교 검토한다.

## 2. 기존의 반향제거기 초기화 방법 (반향경로의 일괄추정)

correlation을 이용한 초기화 방법은 자기상관 값이 주기적인 임펄스 함수를 갖는 특성 신호를 필요로 한다. 다음과 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.

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

$y(n)$ 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. 이 때, 반향경로의 임펄스 응답보다 초기화 신호의 주기가 충분히 크다고 가정한다. 여기서  $v(n)$ 은 추가적인 배경잡음이고,  $*$ 는 컨볼루션(convolution)을 나타낸다.

$\sigma_v^2$ ,  $\sigma_p^2$ 를 각각 배경잡음과 송신신호의 전력이라고 할 때, 각 탭에 대한 반향경로 추정 오차의 전력은

$$\sigma_{\tilde{h}}^2 = \frac{\sigma_v^2}{L\sigma_p^2} \quad (4)$$

와 같다. L길이의 경로 추정치중 W길이만큼1) 취하여 반향제거기를 초기화하고 본격적인 데이터 송수신을 할 때에 얻어지는 잔여반향의 전력은

$$E[\epsilon(n)^2] = E\left\{x(n) * \tilde{h}(n) - (x(n) * h(n) + v(n))\right\}^2 = (1 + \frac{W}{L})\sigma_v^2 \quad (5)$$

와 같다. 여기서 데이터 전송시의 신호  $x(n)$ 의 전력은 초기화 신호  $p(n)$ 의 전력과 같다고 가정한다. correlation을 이용한 반향제거기의 초기화 방법은 대부분의 경우에 별도의 추가 수렴이 필요하지 않을 정도로 충분한 초기화 성능을 얻을 수 있다. 이와 같은 자기상관 특성을 갖는 신호로서 correlation 사용 초기화에 사용되는 신호로는 polyphase 신호와 이를 변형하여 최근에 Guozhu가 제안한 신호를 들 수 있다. 그러나 이들 신호들을 사용한 반향제거기를 초기화에 있어서 기존의 방법에서는 추정할 반향경로 중 임펄스 응답을 알고 있는 경로와 그렇지 않은 경로를 구별하지 않고 일괄적으로 초기화하기 때문에 성능의 최적치를 얻지 못하는 단점이 있었다.

1) 반향제거기의 탭수의 길이인 W는 근반향제거기의 길이와 원반향제거기의 길이를 더한 값으로서 반향경로보다 길어야 한다.

### 3. 제안한 방법 (반향경로의 선별적 추정)

본 논문에서는 신호주기 사용의 효율을 좋게 하여 같은 길이의 반향 경로 추정을 보다 빨리 할 수 있는 방법을 서술한다. 그림 1에서와 같이 모뎀 접속시 반향경로(echo path)는 크게 송신단, 채널, 수신단의 경로로 나뉜다. 송신단의 경로는 펄스성형 필터(shaping filter), 프리엠퍼시스 필터(pre-emphasis filter), 보간 필터(interpolation filter)와 아날로그 전단부(analog front-end)로 구성되고, 채널에서의 경로는 2선의 가입자 선로(local loop)와 전화국간 전송 경로로 구성되며, 수신단에서의 경로는 아날로그 전단부(analog front-end)와 추림 필터(decimation filter)로 구성된다. 여기에서 펄스성형 필터와 프리엠퍼시스 필터는 in-band Nyquist 반향제거기의 구조상 통과대역(passband)으로 옮긴 변형분이 반향 경로에 포함되며, 보간 필터와 추림 필터는 아날로그 전단부에서 A/D, D/A 변환을 위한 필터이다. 이와 같은 반향 경로 중에서 송신단과 수신단의 필터들은 고정된 그 계수값들이 미리 알려져 있다. 그외 채널에서의 경로는 그 임펄스 응답을 초기화 이전에는 알지 못한다.

기존의 반향 경로 추정에서는 이러한 기지 경로와 미지 경로를 선별적으로 고려하지 않고 반향경로 전체를 일괄적으로 추정하였기 때문에, 기지 경로의 미리 알고 있는 정보를 간과하였다. 그러나 기지 경로의 응답현상을 이용함으로써, 반향제거기 초기화 성능과 속도를 향상시킬 수 있다.

우선 초기화 신호를 미지 경로에만 선별적으로 전송하여 미지 부분만의 임펄스 응답을 초기화한다. 기지 경로의 임펄스 응답은 이미 알고 있는 값이므로, 미지 경로의 임펄스 응답이 초기화된 이후에 이와 컨벌루션(convolution)하면 기지경로와 미지 경로 전체의 반향경로를 추정할 수 있는 것이다. 이 새로운 초기화 방법을 “선별적 반향경로 추정방법”이라 부르자. 여기서 초기화 신호를 미지 경로에만 선별적으로 전송한다는 것은 초기화 신호에 펄스성형 필터처리와 프리엠퍼시스 필터처리를 하지 않는다는 의미이다. 즉, 기지 경로의 필터 중에서 아날로그 전단부 인터페이스를 위한 보간/추림 필터 외에는 초기화 신호에 별도의 처리를 하지 않는 것이다. 펄스성형 필터나 프리엠퍼시스 필터는 호출모뎀과 응답모뎀간 송수신 성능을 향상시키기 위한 것으로서 반향제거기 초기화를 위한 신호전송에는 필요하지 않다. 본 반향제거기 초기화를 위한 경우에 이들 필터들이 오히려 반향제거기 초기화의 성능을 열화시키는 요인이 된다.

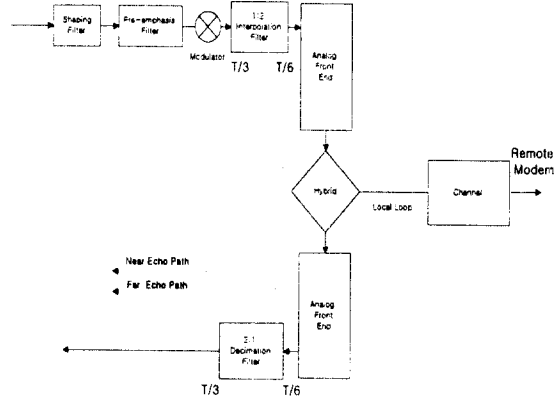


그림 1. 반향경로의 구성과 분류

Fig. 1. Components of echo path

즉 반향제거기 초기화를 위한 신호전송시 기지 경로를 포함시키지 않으면 반향제거기의 초기화 성능까지도 향상시킬 수 있는 것이다. 선별적 반향경로 추정방법이 반향 경로 추정을 한꺼번에 하는 기존의 방법보다 더 나은 초기화 성능을 가진다는 것은 다음 두가지 면으로 설명된다.

먼저, 기존의 연구에 따르면, 미지의 경로를 추정할 때 최적 추정을 위해서는 초기화 신호가 백색신호(white signal)인 것이 바람직하다 [8]. 그러나 기존의 초기화에서는 미지 경로에 전송하는 신호가 백색신호가 아니라, 이것이 기지 경로만큼 컨벌루션된 신호인 것이다. 따라서 반향 경로 추정에 있어서 최적 성능이 아니다.

잔여반향 전력의 관점에서 보면, 기존 방법에 의해 반향제거기를 초기화할 때 추정오차 전력  $P_e$ 는

$$P_e = \frac{2W\sigma_v^2}{L\sigma_p^2} \quad (6)$$

으로 주어진다. 여기서  $\sigma_v^2$ 는 배경잡음 전력,  $\sigma_p^2$ 는 초기화 신호의 전력이고, L과 W는 각각 초기화 신호의 주기와 반향제거기의 탭수이다. 따라서 초기화 이후 데이터 송신시의 잔여 반향 전력은

$$E[\alpha(n)^2] = \sigma_v^2 + \frac{W\sigma_v^2\sigma_x^2}{L\sigma_p^2} \quad (7)$$

가 된다. 여기서,  $\sigma_x^2$ 는 데이터 송신신호 전력이다.

선별적 반향경로 추정방법에 의하여 반향제거기를 초기화한다는 것은 반향경로의 특성에 따른 분리이다.  $h_1(n)$ 은 기지 경로의 임펄스 응답이고,  $h_2(n)$ 은 미지 경로의 임펄스 응답이라 할 때,

$$h(n) = h_1(n) * h_2(n) \quad (8)$$

와 같이 표시된다. 이 때의 추정오차 전력  $P_e$ 는

$$P_e = \frac{2W_1 \sigma_v^2}{L \sigma_p^2} \quad (9)$$

이다. 이 식에서  $W_1$ 은 미지 경로만의 임펄스 응답 길이인데, 이는 전체 반향 경로의 한 부분 이므로 전체 반향 경로 길이  $W$ 보다 클 수 없다. 선별적 반향 경로 추정방법 초기화를 한 후의 잔여반향 전력은

$$E[e(n)^2] = \sigma_v^2 + \frac{W_1 \sigma_v^2}{L \sigma_p^2} \quad (10)$$

과 같이 된다. 여기서  $\sigma_y^2$ 는 신호  $y(n)$ 의 전력 으로 송신신호  $x(n)$ 이 기지 경로를 거친 신호 이다. 이 신호는 송신신호  $x(n)$ 과 주파수 응답 은 다르지만, 펄스성형 필터와 프리엠퍼시스 필터 설계가 입출력 전력이 같도록 이루어지는데 착안하면 전력 간에는 같은 관계가 성립한다. 따라서 식(7)과 식(10)을 비교할 때  $W_1$ 이  $W$ 보다 작다는 것이 다르므로, 선별적 반향 경로 추정방법이 이만큼 우수한 성능을 갖는다고 할 수 있다.

이와 같이 선별적 반향 경로 추정방법으로 반향제거기를 초기화하면 아래의 이점이 있다.

1. 초기화 신호가 미지 부분의 임펄스 응답 길이만큼만 필요하므로 신호길이의 단축을 얻는다. 즉, 같은 길이의 경로 추정을 더 빨리 할 수 있게 된다.
2. 반향 경로를 추정할 때 전체 경로의 길이보다도 오히려 짧은 주기의 신호를 사용하여 초기화할 수 있다.
3. 기존의 방법보다 초기화 잔여 반향전력이 적다.
4. 기존 방법에서는 초기화 신호를 전송할 때마다 펄스성형 필터처리와 프리엠퍼시스 필터처리를 했지만, 선별적 반향 경로 추정방법에서는 기지 경로와 미지 경로를 결합시키는 마지막 단계에서 한번만 하면 되므로 연산량이 적어진다.

#### 4. 모의실험 결과

앞에서의 식(7)과 식(10)을 통하여, 기존의 반향 경로 추정방법보다 선별적 반향 경로 추정방법이 성능이 나은 것을 보였다. Guozhu 신호를 기존의 방법대로 적용하여 반향 경로를 추정한 경우와 이를 선별적 반향 경로 추정방법을 사용하여 반향 경로를 추정한 경우의 반향제거기 초기화 성능을 표1과 같은 조건에서 비교하였다. 단, 선별적 반향 경로 방법 자체만의 우수성을 검증하기 위하여 두 경우 모두 신호는 Guozhu

표 1. 반향제거기 초기화 실험조건  
Table 1. Experimental conditions

신호조건 항목	조건
전화국간 전송경로	C1 채널
가입자망 선로	loop 1 type
원반향의 phase roll	0 Hz
송신신호의 전력	-9dBm
근반향의 전력	-20dBm
원반향의 전력	-40dBm
원반향의 왕복지연시간	94 심볼구간
채널의 추가적인 백색잡음 전력	-90dBm (그림6에서는 가변)
아날로그 전단부의 양자화 잡음의 전력	신호대비 -72dB

신호를 사용하였다. 그림 2는 전체 반향 경로의 임펄스 응답을 나타낸 것이다. 그림 3과 그림 4는 선별적 경로추정 방법에서 구한 기지 경로와 미지 경로의 임펄스 응답을 각각 표현한 것으로서 이를 합성한 결과가 그림 5이다. 그림 6은 배경잡음 전력에 따른 초기화 방법 간의 성능을 비교한 것이다. 여기서 성능 측정의 기준으로 쓰인 근반향 제거정도는 원반향과 배경잡음에 의한 초기화 오차가 반영되는 값으로서, 성능 측정의 기준으로 타당하다. 선별적 경로추정 방법이 1dB정도 나은 반향제거기 초기화 성능을 보임을 알 수 있다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 반향 경로에 대하여 기존의 일괄 추정방법과는 달리, 선별적으로 경로를 추정함으로써 기지 경로의 알고 있는 정보를 이용하였다. 이 방법은 별다른 대가없이 반향제거기 초기화의 속도, 신호사용 효율, 초기화 성능, 연산량 면에서 나은 좋은 특성을 보이므로 음성대역 모델 구현에 바로 적용할 수 있으리라 판단된다. 또한, 더 나아가서 본 논문에서 구별한 기지 경로와 미지 경로의 구분이 각각 복소수 채널, 실수 채널의 구분으로도 대응됨을 관찰할 수 있다. 이에 착안하면, 실수 채널에 전용되는 보다 효율적인 실수신호로의 설계가 추가될 수 있음을 알 수 있다.

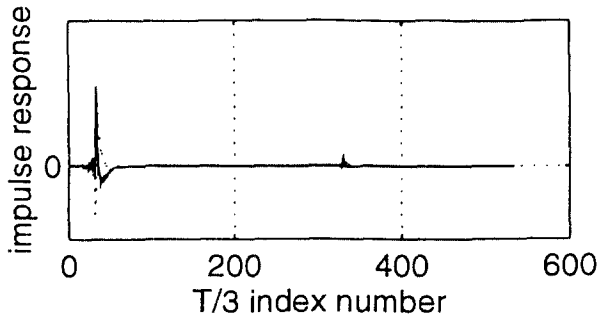


그림 2. 전체 반향경로의 임펄스 응답  
Fig 2. Original echo path

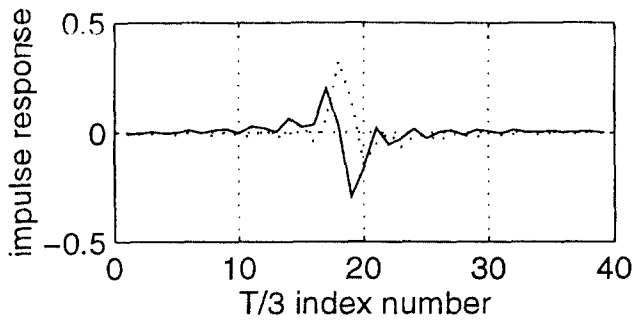


그림 3. 기지 경로의 임펄스 응답  
Fig 3. Known echo path

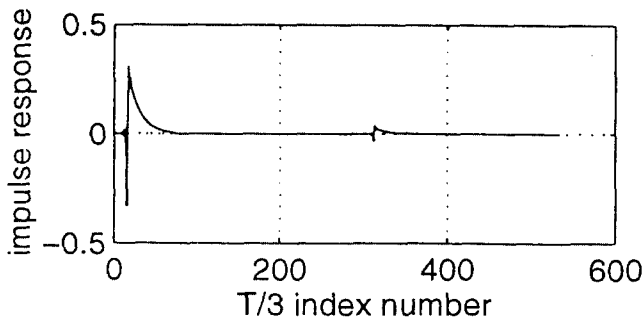


그림 4. 미지 경로의 임펄스 응답  
Fig 4. Unknown echo path

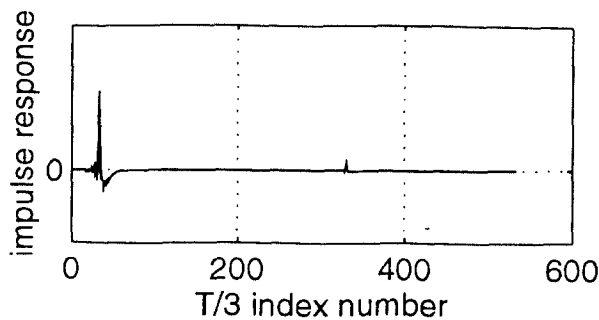


그림 5. 기지경로와 미지 경로의 결합  
Fig 5. Combined echo path

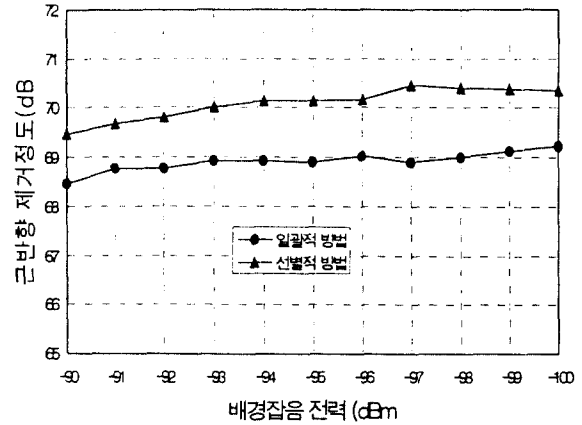


그림 6. 배경잡음 전력에 따른 성능 비교  
Fig.6. Comparison of initialization performance

### 참고 문헌

- [1] Members of Technical Staff Bell Telephone Laboratories, "Transmission Systems for Communications," *Bell Telephone Laboratories*, 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 Recommendation*, 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," *신호처리학회 학술대회 논문집*, pp. 27-30 1996년