

부분적으로 대역이 겹치는 반향신호에 대한 연산 효율적인 제거기의 설계

Computationally Efficient Cancellation of Partially-overlapped Echo Signals

정민호^o, 이용환

Minho Cheong^o and Yong-Hwan Lee

School of Electrical Engineering, Seoul National University

서울대학교 전기공학부

Kwanak P. O. Box 34, Seoul 151-742, Korea

FAX: 82-2-880-8213, Phone: 82-2-880-8413, E-mail: ylee@snu.ac.kr

요약문 - DSL 서비스에서 보다 고속의 데이터 전송을 위하여 심볼률을 확장하면 부분적으로 대역이 겹치는 반향신호가 발생한다. 이에 기존의 다상 반향제거기를 적용하면 높은 심볼률로 인하여 엄청난 연산량을 필요로 한다. 본 논문에서는 부분적으로 대역이 겹치는 반향신호를 기존의 절반 이하의 연산량으로 제거하는 새로운 반향제거기 구조를 제안한다. 이는 다중률 필터링을 통하여 신호처리의 속도를 낮춘 것으로서, 뛰어난 연산절감과 아울러 기존의 반향제거기와 방불한 성능을 보인다.

거기를 제안한다. 겹쳐진 반향신호의 대역이 전체 주파수 사용 범위에 비하면 매우 좁다는 사실에 착안하여, 반향신호를 기저대역으로 복조하고 이에 적절한 다중률 필터링 연산을 가함으로써 상당한 연산량 절감을 얻는 방식이다.

2장에서 일반적인 상향/하향 전송 환경에서 나타날 수 있는 부분적으로 대역이 겹쳐진 반향신호에 대한 파라미터들을 모델링한다. 3장에서는 제안한 반향제거기의 구조와 운용방식을 설명하며 4장에서는 이의 성능을 분석한다. 모의실험 결과와 결론은 5장과 6장에서 각각 보인다.

1. 서론

가입자 망 회선을 사용한 통신에서 보다 고속의 데이터 서비스를 가능하도록 하기 위해서는 전송 대역을 확장하는 것이 필요하다. 중심 주파수를 고정된 상태에서 대역을 확장하면 양방향의 스펙트럼이 겹쳐지게 되는데, 이에 의하여 수신단에서는 부분적으로 대역이 겹쳐진 반향성분을 수신하게 된다.

기존의 반향제거기는 일반적으로 다상(polyphase) 구조를 갖고 있다. 다상 비율은 심볼률에 대한 샘플링 주파수의 비로 나타내어지는데, 흔히 사용되는 inband data-driven Nyquist 반향제거기에서는 이 값이 매우 크다. 따라서, DSL(Digital Subscriber Loop)과 같이 심볼률이 매우 높은 경우에는 이로 인한 과중한 연산량이 큰 부담이 된다. 대부분의 경우, 이러한 연산량은 수백 MIPS (Mega Instructions Per Second) 이상 수준이다.

본 논문에서는 부분적으로 대역이 겹쳐진 반향신호를 효율적으로 제거하기 위한 새로운 반향제

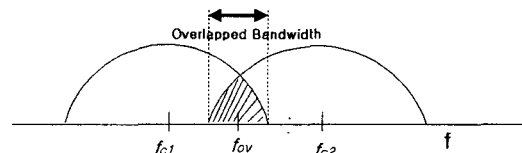


그림 1. 부분적으로 대역이 겹친 반향신호의 주파수 배치

2. 부분적으로 대역이 겹쳐진 반향신호

그림 1과 같이 주파수 대역 분포를 가진 상향/하향 전송을 생각하자. 여기서 f_{c1} 과 f_{c2} 는 각각 상향신호와 하향신호의 반송파 주파수이다. 이와 같이 대역이 겹쳐진 환경에서는 다른편 신호 스펙트럼에 겹쳐진 반향신호가 수신된다. 그림 1에서 빗금친 영역은 반향신호의 스펙트럼을 나타내는데 이 때 f_{ov} 는 반향신호의 중심 주파수이다. 상향/하향신호의 심볼률이 f_s 로 동일한 SDSL의 경우, 전송단 필터의 roll-off factor를 α 라 하면 반향신

호의 대역은

$$f_{c_2} - \frac{f_b}{2}(1+\alpha) \leq W_e \leq f_{c_1} + \frac{f_b}{2}(1+\alpha) \quad (1)$$

고 나타내어지며, 이 때

$$\zeta = \frac{f_{c_2} - f_{c_1}}{f_b(1+\alpha)} \quad (2)$$

를 'Carrier Spacing Ratio'라 정의한다. 이는 상향/하향 신호의 중심 주파수 간의 간격을 심볼률로 정규화한 수치로서, 이 값이 1보다 작으면 두 신호의 대역이 겹쳐져 반향이 발생함을 의미한다.

이 경우, 기존의 Nyquist 반향제거기를 사용하여 반향을 제거하려면 다상 비율 L 이

$$L \geq \left\lceil \frac{2f_{c_2} + f_b(1+\alpha)}{f_b} \right\rceil \quad (3)$$

이고 반향신호의 길이가 N 심볼일 때, 간단한 LMS (Least Mean Square) 알고리즘을 적용할 경우, 연산량은 초당 $8L \cdot N \cdot f_b$ MAC (Multiply & Accumulate) 회가 된다[3] [4] [5]. 일반적인 SDSL 서비스의 경우를 예를 들면, $f_b = 128$ kbaud, $\zeta = 0.83$ 이고, 반향신호의 길이는 20 심볼주기일 때, 필요한 연산량은 초당 320 Mega MAC 이 된다. 이는 현재의 DSP 기술로 처리하기에 부담스러운 연산량이며, 이의 감축을 위한 새로운 방법이 요청된다.

3. 제안된 반향제거기의 구조

본 논문에서 제안하는 반향제거기는 부분적으로 겹쳐진 반향신호의 대역이 전체 사용 주파수 범위에 비하여 매우 좁다는 사실에 착안한다. 즉, 반향제거기의 동작속도를 가능한 한 늦추는 동시에, 반향제거기의 입력과 출력을 적절한 다중률 필터링 처리를 통하여 맞추어주는 것이다. 제안된 반향제거기의 새로운 구조는 그림 2에서 보듯이 입력 전처리 블록(Input pre-processing block), 반향제거 필터 블록(Echo cancelling filter block), 출력 후처리 블록(Output post-processing block), 오차 제환 블록(Error feedback block)의 4가지 블록으로 크게 구성되어있다.

제안한 반향제거기의 동작 원리는 다음의 순서를 따른다. 먼저, 입력 전처리 블록에서 입력신호를 주파수 이동시키는데, 이는 부분적으로 겹쳐질 반향신호의 중심 주파수가 기저대역으로 옮겨지게 하기 위한 목적이다. 주파수 이동된 심볼주기 간격의 입력 신호를 반향제거 필터 블록이 받아서 필터처리를 한다. 이 반향제거 필터는 기존의 반향제거기에 비하여 동작속도가 매우 느리다는데 그

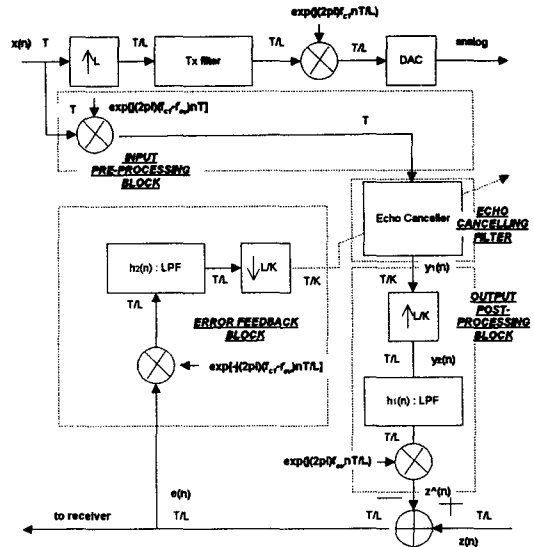


그림 2. 제안한 반향제거기의 구조

특징이 있다. 본 반향제거 필터 블록의 다상 비율 K 는

$$K = \lceil (1 - \zeta) \cdot L \rceil \quad (4)$$

로 나타내어지며, 이는 기존의 반향제거기의 다상 비율 L 에 비하여 매우 작은 값이다. 따라서 본 블록에서 얻을 수 있는 연산량 절감의 비율은 $\frac{L}{K}$ 이다 [6].

출력 후처리 블록은 일종의 보간 (interpolation) 기능 블록으로서, 여기에 사용되는 $h_1(n)$ 는 이미 지 제거용 필터이다. 이후, 반향신호를 본래의 대역으로 되돌려 놓기 위한 주파수 이동을 시킨다.

마지막으로 오차 제환 블록은 수신신호로부터 반향제거기의 출력을 뺀 결과값에서 오차를 추 출하여 반향제거기에 제환시키는 블록으로서, $\frac{L}{K}$ 배 추림 (decimation) 기능을 포함하고 있다. $h_2(n)$ 는 에일리어징 제거용 필터이다. 그림 3은 각 블록에서의 신호처리 과정을 주파수 관점에서 순차적으로 도시한 것이다.

4. 반향제거기의 성능분석

$z(n)$ 과 $\hat{z}(n)$ 을 각각 반향신호와 수렴 후의 반향제거기 출력이라고 하자. 또한 반향경로의 등가 임펄스 응답과 반향제거기의 임펄스 응답을 각각 $h_{ep}(n)$ 과 $h_{ec}(n)$ 이라고 할 때, 잔여반향 전력은 식 (5)와 같다. 이 때, $x(n)$ 과 $v(n)$ 은 각각 데이터 신호와 배경잡음이다.

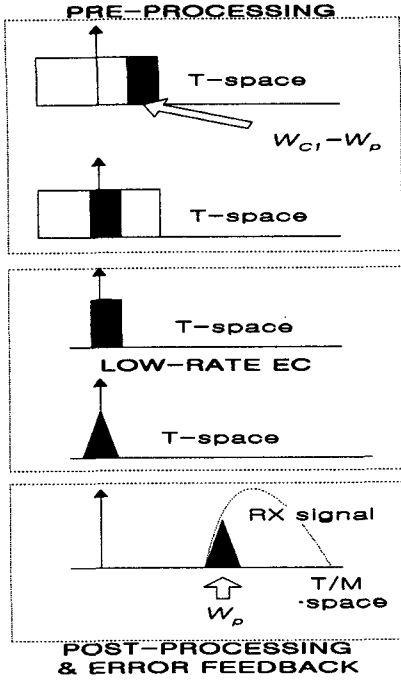


그림 3. 각 블록 전후의 스펙트럼

$$\begin{aligned}
 E\{e(n)^2\} &= E\{[z(n) - \hat{z}(n)]^2\} \\
 z(n) &= x(n)e^{j2\pi f_c nT} * h_{ep}(n) + v(n) \\
 \hat{z}(n) &= y_2(n) * h_1(n) \cdot e^{j2\pi f_c nT/L}
 \end{aligned} \quad (5)$$

$y_1(n)$, $y_2(n)$ 은 다중률 필터링의 단계에서 나타나는 중간 신호로서

$$y_2(n) = \begin{cases} y_1\left(\frac{n}{L/K}\right) & : n \text{ is multiple of } L/K \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 y_1(lK + m) &= x(l) \cdot e^{j2\pi(f_a - f_m)lT} * h_{ec,m}(l) \\
 l: \text{integer}, 0 \leq m \leq K-1
 \end{aligned}$$

과 같이 나타내어진다. 여기서 $h_{ec,m}(l)$ 은 $h_{ec}(n)$ 의 m 차 다상 필터 응답을 의미한다.

한편, 다중률 처리용 필터인 $h_1(n)$ 과 $h_2(n)$ 의 주파수 응답을 그림 4와 같이 간략화하면, 잔여반향 전력이

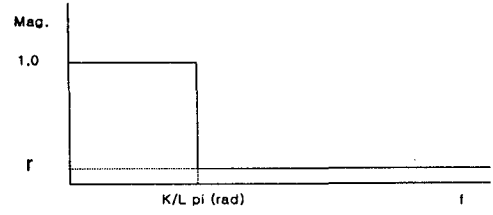


그림 4. 다중률 필터 응답의 간략화

$$E\{e(n)^2\} = E\{[z(n) - \hat{z}(n)]^2\} \approx \sigma_v^2 + \sigma_x^2 \left(\frac{L}{K} r_1^2\right) \quad (7)$$

와 같이 유도되어진다. 단, 여기서 σ_x^2 , σ_v^2 는 데이터 신호와 배경잡음의 전력이며, r_1 은 $h_1(n)$ 필터의 정지대역 감쇄율을 나타낸다.

한편, 제안된 구조를 적용할 때의 연산량을 분석하면 이는 반향제거 필터의 연산과 다중률 필터 처리를 위한 연산으로 크게 나누어진다. 다상 비율이 K 일 때, 반향제거 필터의 연산량은 초당 $8K \cdot N \cdot f_b$ MAC이며, 다중률 필터의 랩수가 M 일 때, 다중률 필터의 연산량은 초당 $2K \cdot M \cdot f_b$ MAC이다. 랩수 M 은 equi-ripple 필터 설계에서의 알려진 경험식을 통하여 결정할 수 있으므로 [6], 전체 연산량은 초당

$$\left[8K \cdot N + 13.7K \left(\frac{L}{K}\right) \log_{10} \left(\frac{L}{K} \text{SNR}_{\text{target}}\right) \right] f_b \quad (8)$$

번의 MAC 연산으로 얻어짐을 보일 수 있다.

5. 모의실험 결과

제안된 방법의 성능을 검증하기 위하여 심볼률 128 kbaud, 데이터율 768 kbps의 SDSL 서비스를 가정하였다. 반향제거를 위한 훈련신호로는 4-QAM을 사용하였고, 기타 세부 실험조건은 표 1과 같다.

그림 5는 배경잡음 전력에 따른 반향제거 성능을 보인 것이다. SNR이 증가함에 따라서 반향제거 성능도 아울러 증가하다가 50 dB 근방에서 포화되는데, 이는 제안한 반향제거기 구조에서 사용한 다중률 필터의 정지대역 감쇄율이 이상적이지 않음으로 인하여 성능이 제한되는 것이다.

그림 6은 상향/하향신호의 심볼률을 확장함에 따라 요구되는 연산량을 기존의 반향제거기 연산량에 비로써 도시한 것이다. 반향이 발생하는 부분적으로 겹친 대역이 줄어들수록 반향제거 필터 블록에서의 연산량 절감 효과가 현저하며, 아울러 다중률 필터 연산의 비중이 증가함을 알 수 있다.

한편, 그림 7은 심볼률을 확장함에 따라 반향제거 필터 블록의 다상 비율인 K 값의 추이를 보인 것이다. 부분적으로 겹치는 대역이 줄어들수록

작은 K 값이 가능하므로, 이 경우 더욱 두드러진 연산량 절감 효과를 역시 관찰할 수 있다.

표 1. 모의실험 조건 (1)

Conditions	Details
Loop Type	CSA-1 loop
Symbol Rate	128 kbaud
Training Sequence	4-QAM
Carrier Frequency	128 kHz (Tx) 256 kHz (Rx)
Roll-off Factor of Tx Filter	20 %
Carrier Spacing Ratio	0.83
L	8
K	1
Stopband Attenuation of Multi-rate Filters	60 dB

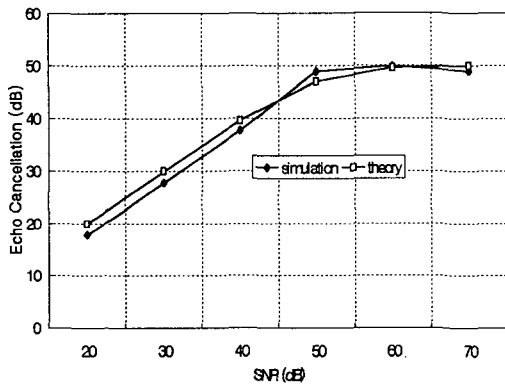


그림 5. SNR 에 따른 반향제거 성능

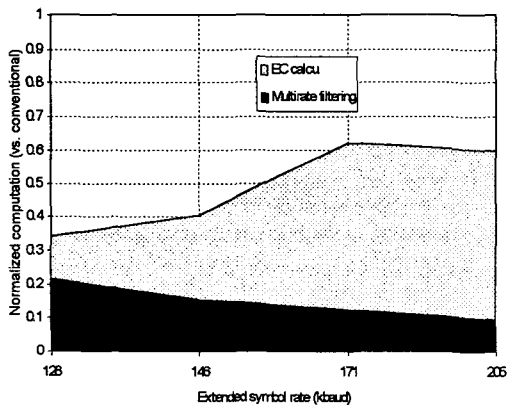


그림 6. 심볼률 확장에 따른 요구 연산량의 변화

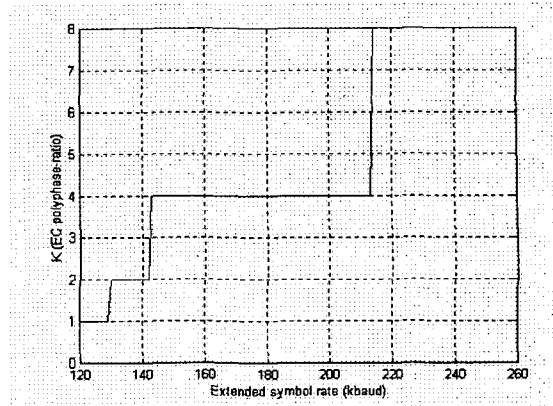


그림 7. 심볼률 확장에 따른 K 값의 추이

6. 결론

본 논문에서는 부분적으로 대역이 겹친 반향신호를 효과적으로 제거하는 반향제거기의 구조를 새로이 제안하였다. 이는 다중률 신호처리를 응용한 것으로서 탁월한 연산량 절감효과를 보여준다. 본 논문에서 제안한 반향제거기 구조는 SDSL, VDSL 과 같이 심볼률이 커서 연산량 부담이 큰 고속 데이터 서비스에 적용될 수 있으리라 여겨진다.

References

- [1] David Jones et al, *Physical Layer Specification for CAP/QAM-based Rate Adaptive Digital Subscriber Line*, Oct. 1997.
- [2] W. Y. Chen, *DSL Simulation Techniques and Standards Development for Digital Subscriber Line Systems*, MTP, 1998.
- [3] D. Messerschmitt, "Echo cancellation in speech and data transmission," *IEEE J. Select. Areas Comm.*, pp. 283-297, Mar. 1984.
- [4] S. B. Weinstein, "A passband data-driven echo canceller for full-duplex transmission on two-wire circuits," *IEEE Trans. Comm.*, pp. 654-666, July 1977.
- [5] J. J. Werner, "Effects of channel impairments on the performance of an in-band data-driven echo canceller," *AT&T Tech. J.*, pp. 91-113, Jan. 1985.
- [6] P. P. Vaidyanathan, *Multi-rate Systems and Filter Banks*, Prentice Hall, 1992.