

순지연 시간 추정을 이용한 네트워크 반향 제거기의 실시간 구현

나성재, 한철희, 최용수*, 강환중*, 윤대희

연세대학교 전기전자공학과

LG전자 기업통신연구소*

Real-Time Implementation of Network Echo Canceller Using Bulk-delay Estimation

Seong-Jae Na, Chul-Hee Han, Yong-Soo Choi*, Hwan-Jong Kang*, Dae-Hee Youn

Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei University

Enterprise Communication Lab., LG Electronics

Email : smile@mcspl.yonsei.ac.kr

요약

본 논문은 반향경로의 순지연 시간 추정 및 보상을 이용한 네트워크 반향 제거기의 실시간 구현에 관한 연구이다. VoIP 게이트웨이와 연결된 복잡한 교환기망(PSTN)에서 발생하는 긴 반향은 통화품질의 저하를 초래한다. 긴 순지연 시간을 포함하는 반향을 실시간 구현에 적합한 연산량으로 제거하기 위해, 간축 영역에서 반향 경로를 추정하여 순지연 시간을 추정후 보상하는 반향제거기를 구현하였다. 순지연 시간의 안정적인 추정을 위해 문턱치 보다 큰 유효 계수를 이용하여 순지연 시간을 추정하는 기법을 제안하였으며, 실시간 구현시 순간 최대 연산량을 줄이기 위해 추정된 반향 경로를 분할하여 순지연 시간을 추정하는 기법을 제안하였다. 제안된 시스템을 Texas Instruments사의 16비트 고정소수점 DSP TMS320C5409를 사용하여 구현하였고, 시뮬레이터를 통하여 성능을 검증하였다.

1. 서론

최근들어 인터넷망을 이용한 음성 통신 서비스인 VoIP(voice over IP)의 보급이 확산되고 있다. 일반 전화가입자가 VoIP를 이용하여 통화할 경우, 가입자의 전화기로부터 VoIP 게이트웨이(gateway)까지 복잡한 교환기망을 거칠 수 있다. 교환기망 내의 하이브리드 회로에 의해 발생한 반향은 VoIP 게이트웨이에서 일반 가입자가 연결된 교환기까지의 왕복 시간 만큼의 지연을 갖게되며, 이때 100~200msec의 긴 지연 시간을 갖는 반향이 발생될 수 있다.

적응 필터를 이용한 반향 제거기로 100~200msec의 반향을 제거하기 위해서는 8KHz 표본화율을 기준으로 800~1,600개의 적응 필터 계수가 필요하며, 이러한 경우 과도한 연산량과 수렴속도 저하의 문제로 실시간 구현이 어렵게 된다.

반향 경로는 교환기망의 처리지연(processing delay)으로 모델링 할 수 있는 순지연 부분(bulk-delay)과 원

* 본 연구는 (주)LG전자의 연구비 지원으로 수행되었습니다

신호에 변형을 일으키는 유효지속 구간(dispersive region)으로 이루어져있다[1][2]. 유효지속 구간의 길이는 일반적으로 수msec 이내로 알려져있다[3]. 반향 경로의 순지연 시간을 추정, 보상하여 유효지속 구간에 해당하는 길이의 적응 필터를 이용하여 반향을 제거함으로써 연산량의 감소와 수렴시간을 단축 시킬수 있는 구조가 제안되었다[4]-[6].

본 논문에서는 간축 영역에서 적응 필터를 이용하여 간축된 반향 경로로부터 순지연 시간을 추정, 추정된 순지연 시간을 보상하는 구조의 반향 제거기를 구현하였다[4][6]. 적응 필터의 수렴 정도가 성능에 영향을 끼치는 기존 방법의 단점을 극복하기 위하여 본 논문에서는 문턱치 설정을 통하여 필터 계수의 유효값만으로부터 순지연 시간을 추정하는 방법을 제안하였다. 또한, 실시간 구현 최적화를 위하여 적응 필터를 간축배수 M 에 해당하는 영역으로 분할하여 최대값을 검출함으로써 순간 최대 연산량(peak load)을 줄일 수 있는 기법을 제안하였다. 제안된 기법을 이용해 순지연 시간을 추정 보상하는 구조의 반향제거기를 TI사의 16비트 고정소수점 연산 DSP인 TMS320C5409를 이용하여 하나의 DSP에 8채널을 수용하도록 실시간 구현하였으며, 이를 시뮬레이터를 통하여 확인하였다.

2. 제안된 알고리즘

2-1. 유효계수 판별을 이용한 순지연 시간 추정

본 논문에서는 안정적인 순지연 시간 검출을 위해 반향 경로의 순지연 시간을 추정하는 새로운 기법을 제안한다. 제안된 기법은 반향 경로를 추정한 적응 필터 계수의 절대값을 문턱치와 비교하여 문턱치 보다 큰 값을 갖는 필터 계수를 유효값으로 판단하고, 판단된 유효계수만을 이용하여 최대값을 검출하는 것이다. 이로 인해 적응 필터의 수렴이 진행 되는 구간에서 순지연 시간이 잘못 추정되는 것을 방지할 수 있다. 문턱치가 실제 반향 경로가 모델링 되는 FIR필터 계수의 최대값보다 크게 설정되면, 추정된 반향 경로에서 최대값을 찾지 못하게 되고, 반대로 문턱치를 너무 작게 설정하면 기존의 최대값 검출과 마찬가지로 수렴이 진행되는

동안 순지연 시간을 잘못 추정하게 된다. 그러므로 반향 경로의 감쇄비를 고려한 적절한 문턱치의 설정이 필요하다. 본 논문에서는 여러 반향 감쇄비를 갖는 반향 경로에 대한 모의 실험을 통해 적절한 문턱치를 설정하였다. 유효 계수를 이용한 최대값을 검출하여 순지연 시간을 추정하는 기법을 식 (1)-(4)에 나타냈다.

$$\hat{\mathbf{w}}'(k) = [\hat{w}'_0(k), \hat{w}'_1(k), \dots, \hat{w}'_{P-1}(k)]^T \quad (1)$$

$$\hat{\mathbf{v}}'(k) = [|\hat{w}'_0(k)|, |\hat{w}'_1(k)|, \dots, |\hat{w}'_{P-1}(k)|]^T \quad (2)$$

$$s_k = \{i; \hat{v}'_i(k) > th_{CLIP}, 0 \leq i \leq P-1\} \quad (3)$$

$$\hat{\tau}'(k) = \left[\arg \max_{i \in s_k} \{\hat{v}'(k)\} \right] \cdot M \quad (4)$$

식(1)의 $\hat{\mathbf{w}}'(k)$ 는 간축 영역에서 추정된 반향 경로의 적응 필터 계수 벡터를 나타내며, 식(3)의 $\hat{\mathbf{v}}'(k)$ 는 $\hat{\mathbf{w}}'(k)$ 의 절대치이고, 식(3)의 집합 s_k 는 $\hat{\mathbf{v}}'(k)$ 의 원소중 0이 아닌 첨자의 집합이다. $\hat{\tau}'(k)$ 는 추정된 순지연 시간을 샘플수로 나타낸 값으로 식(4)와 같이 결정된다.

2-2. 분할 검색을 이용한 순지연 시간 추정

적응 필터의 계수를 비교하여 최대값을 추정하는데 필요한 순간 최대 연산량을 줄이기 위해 본 논문에서는 적응 필터를 간축차수 M 만큼의 구간으로 분할하여 최대값을 검색하는 분할 검색 기법을 제안한다. 간축 영역에서는 매 M 샘플에서만 적응 필터의 계수 갱신이 이루어지므로, 최대값 검출은 그 다음 M 샘플 이전까지만 이루어지면 된다. 따라서, 본 논문에서는 적응 필터 계수 갱신 후 계수가 변화하지 않는 $M-1$ 샘플동안 최대값 검색을 시행한다. 그림 1에 이를 나타냈다.

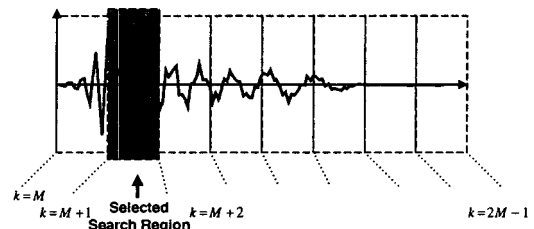


그림 1. 구간 분할 최대값 검출 기법

시간 $k = M$ 에서 신호 간축과 적응 필터 계수의 계

수 갱신이 이루어진다. 계수를 갱신한 후 분할 구간중 첫번째 구간에서 최대값을 검색한다. 시간 $k = M + 1$ 에서는 검색된 분할 구간의 두번째 구간에서 최대값을 검색한다. 적응 필터의 마지막 분할 구간은 시간 $k = 2M - 1$ 일때 검색되며, 적응 필터 전체 구간에 대한 검색이 완료된다. 제안된 구간 분할 최대값 검출 기법을 이용하면 최대값 검출에 필요한 순간 최대 연산량을 간축 배수 M 만큼 줄일 수 있다.

3. 실시간 구현 및 결과

본 논문에서는 최대 128msec의 길이에 해당하는 반향 신호를 제거하기 위해 순지연 시간을 추정 보상하는 반향 제거기를 TI사의 TMS320C5409 DSP를 이용하여 8채널 구현하였다.

TMS320C5409는 최대 100MIPS를 지원하며 2개의 ALU와 32KB의 내부 메모리를 내장하고 있다[7]. 구현된 반향 제거기는 초기 통화가 설정된 이후 간축 영역에서 반향 경로를 추정[6]한 뒤 제안된 순지연 시간 추정 기법으로 순지연 시간을 추정한다. 순지연 시간을 추정하는 동안 반향 제거기는 동작하지 않는다. 순지연 시간의 추정은 통화가 설정된 후 1회만 이루어지고, 추정이 끝난 후에는 그 결과를 이용하여 순지연 시간을 보상한뒤 적은 차수의 적응 필터로 반향 제거를 수행한다. 간축 영역 적응 필터와 반향제거기의 적응 알고리즘에는 NLMS(normalized least mean square)알고리즘을 사용했다[8].

반향 제거기의 안정적인 동작을 보장하기 위해 동시통화 검출기를 구현했으며, 반향제거기가 완전히 제거하지 못한 잔여 반향(residual echo)과 배경잡음을 추가적으로 제거하기 위해 ITU-T 권고안 G.168[9]에서 제안된 반향억압기(echo suppressor)를 구현하였다. 구현된 시스템의 순지연 추정시의 연산량을 표 1에, 순지연 추정후 반향 제거를 위한 연산량을 표 2에 각각 나타냈다.

제안된 시스템의 실시간 DSP 구현을 위해 C로 구현된 프로그램을 고정소수점 실험을 통해 성능을 평가한

후 어셈블리 코딩을 수행했다. 구현된 시스템은 채널당 최대 11.0MIPS의 연산량을 필요로 하며, 100MIPS 연산량을 지원하는 DSP에 8채널 구현하였다. TI사에서 제공하는 시뮬레이터(code composer)를 이용해 8채널에 대한 동작을 확인하였다.

표 1. 순지연 시간 추정 연산량

| 순지연 시간 추정 과정 | Cycle | MIPS |
|-------------------|-------|------|
| 대역 통과 필터 | 130 | 1.04 |
| 간축 영역 동시통화 검출 | 67 | 0.54 |
| 간축 영역 적응 필터 계수 적응 | 499 | 3.99 |
| 기타 | 30 | 0.24 |
| 분할 최대값 검출 | 293 | 2.34 |
| 순지연 시간 추정 완료 판단 | 38 | 0.30 |
| 최대 연산량 합계 | 1,057 | 8.46 |

표 2. 반향 제거기 연산량

| 반향 제거 과정 | Cycle | MIPS |
|--------------|-------|-------|
| 인자 입출력 | 44 | 0.35 |
| 신호 전력 추정 | 134 | 1.07 |
| 추정 반향 신호 필터링 | 289 | 2.31 |
| 동시통화 검출 | 80 | 0.64 |
| 적용 필터 계수 갱신 | 418 | 3.34 |
| 반향 억압기 | 325 | 2.61 |
| 최대 연산량 합계 | 1,290 | 10.32 |

4. 결론

본 논문에서는 순지연 시간을 추정후 보상하는 반향 제거기를 구현하였다. 실시간 구현에 적합한 순지연 시간 추정을 위해 간축 영역에서 반향 경로를 추정한 후, 반향 경로의 순지연 시간을 추정하였다. 간축 영역 적응 필터가 수렴되지 않은 구간에서 잘못된 순지연 시간 추정을 하지 않는 새로운 순지연 시간 추정 기법을 제안하였다. 또한 순지연 시간 추정시 순간 최대 연산량을 줄이기 위해 검색 구간을 분할하여 최대값을 검출하는 기법을 제안하였다. 모의 실험을 통해 제안된 순지연 시간 추정 기법의 문턱치를 적절하게 설정하였으며, 추정 오차를 보정하기 위한 여유 지연 시간을 설정했다. 8채널 구현을 위해 간축 배수를 8배로 설정하였으며,

채널당 11.0MIPS의 연산량으로 TI사의 고정소수점 연산기인 TMS320VC5409를 이용하여 8채널 실시간 구현하였다. TI사의 시뮬레이터를 이용하여 8채널의 동작을 확인 검증하였다.

참고문헌

- [1] P. A. C. Marques, F. M. G. Sousa, and J. M. N. Leitao, "A DSP based long distance echo canceller using short length centered adaptive filters," in Proc. ICASSP, pp.1885 - 1888, 1997.
- [2] V. A. Margo and D. M. Etter, "Multiple short-length adaptive filters for time-varying echo cancellation," in Proc. ICASSP, pp.161 - 164, 1993.
- [3] S. L. Gay and J. Benesty, *Acoustic Signal Processing for Telecommunication*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [4] S. Ikeda and Sugiyama, "A fast convergence algorithm for adaptive FIR filters with coarsely located taps," in Proc. ICASSP, pp.1525 -1528, 1991.
- [5] E. J. Thomas, "Echo path delay simulator for use with adaptive echo canceller," U.S. Patent 3, 721, 777, Mar. 20, 1973.
- [6] D. L. Duttweiler, "Subsampling to estimate delay with application to echo cancelling," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-31, no. 5, pp. 1090-1099, Oct. 1983.
- [7] "TMS320C54x DSP Reference Set," Texas Instruments, April, 1999.
- [8] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice Hall, 1991.
- [9] ITU-T G.168, *Digital Network Echo Cancellers*, 2000.