2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2009. 7. 14 - 17

능동소음 제어시스템을 위한 위상반전에 관한 연구 : DSP 하드웨어 구현

여대연*, 신동기*, 이진우*, 이권순*
동아대학교 전기공학과*

Active Noise Control System by Spectral Inversion Using DSP TMS320C6713

Dae-Yeon Yeo*, Dong-Gi Shin*, Jin-Woo Lee*, Kwon-Soon Lee*
Dong-A University*

Abstract - 본 논문은 실시간 능동소음 제어시스템(ANC)을 위한 위상반전에 관한 연구를 하였다. ANC 기술은 수동적 방법론 보다 적응적으로 그리고 다양한 주파수 대역폭의 소음을 저감할 수 있는 장점으로 다양한 시스템에 적용되고 있다. 본 논문의 목적은 ANC 관련 기술을 DSP에 구현하여 실시간 ANC 적용에 대한 가능성을 제시하고자 하였다.

1. 서 론

소음을 저감할 수 있는 방법에는 크게 수동소음제어기법과 능동소음제어기법으로 나눌 수 있다. 먼저 수동소음제어기법은 흡음재를 사용하는 방법으로 500 Hz가 넘는 고주파 소음에 대해서는 좋은 효과를 보이나 저주파 소음에 대해서는 흡음재의 크기가 커져야 하므로 비용을 증가시키고, 비행기나 자동차 등 중량을 줄여야 하는 곳에서는 사용이 어려운 문제점이 있다. 반면 능동소음제어 (Active Noise Control; ANC)는 2차 source를 이용한 능동 소음 제어에 관한 연구는 70년대 이후 미국, 일본, 유럽 등지에서 활발히 이루어지고 있는데 회전기, 변압기, 자동차 엔진 등에서 발생하는 소음과 같은 저주파의 소음을 감쇠시키는데 있어서 종래의 수동적 방법보다 탁월한 효과를 보여주고 있다. 능동소음제어의 기본원리는 제어용 음원(Secondary source)을 사용하여 제어신호를 발생시킴으로써 소음원(Primary source)에서 발생된 소음신호를 상쇄시키는 것이다[1].

최근 능동소음제어에 관한 개관논문이 발표가 되는 등 다수의 관련연구보고가 이루어지고 있다. 먼저 국내연구보고를 보면 PCB 산업현장의 능동소음제어를 위한 LMS 알고리즘을 적용한 연구가 보고되고 있고, 능동소음 제어기법을 이용한 Active Noise Barrier를 Filtered-X LMS 알고리즘을 적용한 연구가 제안되기도 하였다. 그리고 하이브리드 제어 알고리즘을 이용한 덕트에서의 능동소음제어에 관한 연구가 제안되었다.

국외에서는 최근에 Frequency-Domain Block Filtered-X NLMS 알고리즘을 적용한 Multichannel ANC 연구가 있으며 Filtered-X Affine 알고리즘을 이용한 Volterra Filters ANC에 관한 연구가 진행되어 소음감쇄효과가 나타났다[2][3].

본 논문에서는 능동소음 제어시스템을 위한 위상반전에 관한 연구를 진행하였고 DSP를 이용한 실시간 구현의 가능성을 제시하였다. 위상반전은 능동소음 제어시스템의 핵심기술이며 현재까지 연구된 사례를 보면 DSP의 하드웨어의 제약으로 인하여 실제 적용된 사례는 거의 없는 실정이다. 본 실험에 DSP C6000계열을 사용하여 이전까지의 연구에 제시된 문제점인 연산속도를 높여 ANC를 위한 신호처리를 시간지연을 해결하고자 한다.

2. 능동소음 제어시스템 DSP 구현 알고리즘

본 논문에서의 DSP 구현이론은 Spectral Inversion 방법을 구현하였다. Spectral Inversion은 신호의 입력대역에서 저주파 영역의 주파수들이 신호의 출력 대역의 고주파 영역으로 대응될 때, 또는 반대의 경우에 발생하는 현상이다. 다음 그림 1에서와 같이 IN Band의 저주파수 영역(Shaded)이 OUT Band의 고주파수 영역(Shaded)으로 전달되었다.

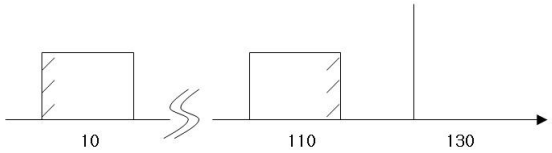
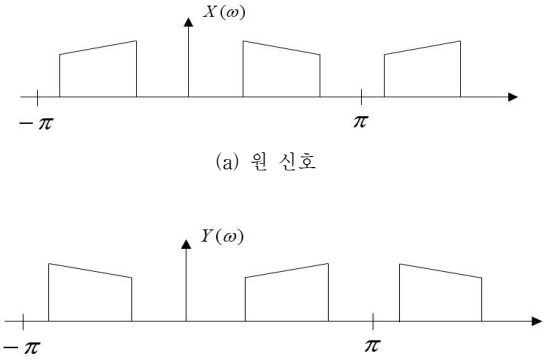


그림 1. 스펙트럼 반전

이러한 스펙트럼 반전을 이산 신호에 적용하면 그림 2과 같이 설명된다. 그림 (a)는 원 신호이고, 그림 (b)는 스펙트럼 반전 후의 신호를 나타냈다.



(a) 원 신호

(b) 스펙트럼 반전 신호

그림 2. 이산신호의 스펙트럼 반전

일반적으로 DSP 알고리즘은 순차적으로 구현된다. 다음 식(3.2)을 수학적 모델로 하였다. 여기서 y(n)은 입력 데이터, x(n)은 스펙트럼 반전된 결과이고, f(n)이 스펙트럼 반전을 구현하는 함수이다.

$$y(n) = f(n) \cdot x(n) \tag{2.1}$$

첫 번째 데이터가 입력되면 그 첫 번째 출력은

$$y(0) = f(0) \cdot x(0) \tag{2.2}$$

가 되고, 두 번째 데이터가 입력되면 그 출력은 다음과 같다.

$$y(1) = f(1) \cdot x(1) \tag{2.3}$$

그러므로 출력은 입력과 스펙트럼 반전 함수로부터 다음과 같이 표현된다.

$$y_{new} = f(n) \cdot x_{new} \tag{2.4}$$

입력 데이터가 주어져 있을 때 그 스펙트럼 반전된 출력을 구하려면 적당한 함수 f(n)이 필요하다. 이제 함수 f(n)이 다음과 같이 순환적으로 표현될 수 있다고 가정한다.

$$\begin{aligned} f(n) &= a \cdot f(n-1) \\ f_{new} &= a \cdot f_{old} \end{aligned} \tag{2.5}$$

이를 만족하는 함수로서 $f(n)=a^n$ 가 있다. 그림 3에서 (a)의 그래프를 y축을 중심으로 반사한 후 수평 이동하면 그림 (b)의 그래프가 나타난다. DFT의 주파수 도메인에서의 수평이동이 시간 도메인에서 무엇에 해당하는지 분석하면 식 (2.5)의 f(n)을 구할 수 있다[4].

본 알고리즘을 DSP 프로그램으로 구현하면 코덱에서 읽은 데이터를 buf 어레이에 저장하고, 이를 함수에 적용하여 buf_res 어레이에 저장하였다. 식 (2.5)의 f(n)의 a값은 1로 설정하였다.

3. 실험 및 시스템 구성

실시간 연산이 필요한 능동소음제어에 마이크로프로세서를 적용하기 위해서는 빠른 연산 속도가 중요하다. DSP(Digital Signal Processor)는 다양한 신호처리 및 고속 연산에 유리하도록 특별히 제작된 프로세서로서 하드웨어적으로 부동 소수점(Floating Point)을 연산하거나 MAC(Multiplication and Accumulation) 연산 기능, 빠른 외부 메모리 인터페이스 등이 특징이다. 특히 능동소음제어 시스템은 행렬 연산이 많이 필요한데, 행렬 연산의 주된 과정은 각 행렬의 요소끼리 곱셈을 한 후 이를 더하는 과정이다. 따라서 곱셈과 덧셈을 한 사이클에 수행할 수 있는 MAC 연산 기능이야말로 빠른 연산을 보장하는 DSP의 특징이다.

DSP 프로세서는 여러 가지 관점에서 분류할 수 있다. 우선 부동 소수점 연산기가 있는 것과 없는 것으로 구분할 수 있다. 부동 소수점 연산기가 있는 것을 Floating-Point DSP라 하고 그렇지 않은 것을 Fixed-Point DSP라 한다. 고정 소수점 연산기는 기본으로 두 종류에 모두 포함 되어 있다. Fixed-Point DSP로도 실수 연산 에뮬레이션을 통하여 실수에 관한 처리를 할 수 있으나 이로 인하여 전체 처리 속도와 소비전력이 증가한다. 따라서 실시간 연산이 필요하는 능동소음제어에서는 부동소수점 연산기가 있는 DSP가 적합하다[5].

본 논문에서의 TMS320C6713 DSP는 32비트 프로세서로서 부동 소수점 연산방식이며, 연산 속도는 1800 MFLOPS(Million Floating-Point Operation Per Second), 2400 MIPS(Million Instruction Per Second)이다. 여기서 1 MFLOPS는 초당 1 백만 개의 부동 소수점 연산속도를 말하며, 1 MIPS는 초당 1 백만 개의 명령어 처리속도를 말한다[4].

본 논문은 그림 3의 DSPSTAR 사의 TMS320C6713 Personal Kit를 사용하였다.

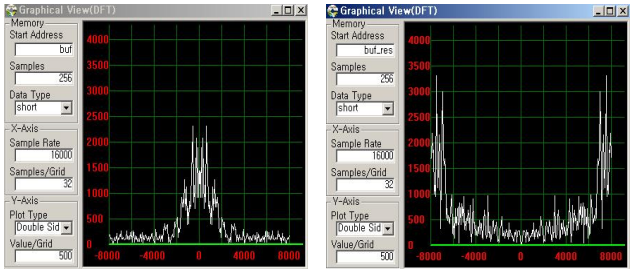
그림 3. DSPSTAR 사의 TMS320C6713 Personal Kit

4. TMS320C6713에서의 DSP 연산

이 절에서는 3절에서 언급한 DSP 알고리즘을 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션 환경은 DSPSTAR사에서 제공하는 Code Builder 4.53과 컴퓨터와 통신을 위하여 RS232 Interface를 사용하였다.

4.1. 실시간 DSP 실험

실시간 DSP 실험을 위하여 입력 신호는 MP3 파일을 사용하였으며 실험에 사용된 장비에는 음성 신호처리를 위한 Texas Instrument사의 TCM320AC36 Codec 칩을 사용하였다. TCM320AC36 Codec에는 음성 대역의 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시키기 위한 아날로그 증폭기, 대역통과 필터, AD/DA 변환기와 디지털 입출력 장치가 내장되어 있으며. AD/DA 변환기는 13비트 선형(linear)변환을 수행하며 최대 16Khz 까지의 샘플링 속도가 가능한데 본 실험에서는 16Kbps를 선택하였다. 그림 4는 입력 신호(a)와 출력신호(b)를 DFT Graph를 나타낸다.



(a) (b)

그림 4. 입력 신호와 출력 신호의 실시간 DFT Graph

4.2 DSP 데이터 검증

4.1절에서 실시간 DSP 실험을 하였다. 그러나 입력신호와 스펙트럼 반전신호에 대한 데이터 검증이 없기 때문에 별도로 입력신호와 출력신호의 데이터를 추출하여 그래프를 그렸다. 데이터 추출에 RS232 인터페이스를 사용하였다. DA변환된 데이터는 16진수이며 DSP 명령어를 통하여 10진수 변환을 하여 RS232로 전송하였다. 본 논문에 사용된 DSP는 고속연산이기 때문에 256개의 데이터 중 1개를 임의로 추출하였다. RS232의 Baudrate는 112500bps 반면, Codec의 데이터 출력 시간 간격이 62.5μs(=1/16000sec)보다 훨씬 적은 값이기 때문이다.

그림 5는 DSP의 입력신호와 출력신호이다. DA변환 이후 입력신호와 출력신호의 위상반전 결과를 나타냈다. 지연시간은 샘플당 3.3ns이며 입력되는 음원에 실시간으로 출력 데이터가 생성되고 있음을 알 수 있다.

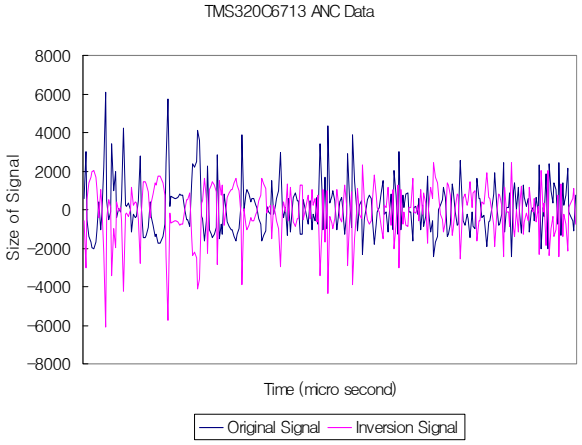


그림 5. RS232로 전송된 DSP 데이터

5. 결 론

본 논문은 능동소음 제어시스템(ANC)을 위한 위상반전에 관한 연구를 하였다. 현재까지 다양한 공학 및 산업기기에 ANC 기술이 적용되었지만 낮은 성능의 DSP로 인하여 실제 적용에 문제점을 보이고 있다. 또한 고속 DSP인 C6000계열의 ANC 기술 및 적용사례는 현재 전무하며 특히 국내 현황의 경우 유사한 연구 활동이 이루어지지 않고 있는 실정이다. 본 논문의 향후 연구로는 하드웨어 제약으로 인한 실제 적용되지 않은 ANC 알고리즘을 TMS320C6713으로 이식하여 시스템을 구현하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 또는 저서는 2008년 정부[교육과학기술부]의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임. [KRF-2008-313-D00395]

[참 고 문 헌]

[1] 남 현도, “일차원 음장에서의 능동소음제어,” 한국소음진동공학회지, 제 5권 제 4호, pp. 461-467, 1995.

[2] Das, K. K., Satapathy, J. K., "Frequency-Domain Block Filtered-x NLMS Algorithm for Multichannel ANC," Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET '08, pp.1293-1297, 2008

[3] Alberto Carini, Giovanni L. Sicuranza, "Filtered-X Affine Projection Algorithms for Active Noise Control Using Volterra Filters," EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Volume 2004, Issue 12, pp.1841-1848, Italy

[4] 오 영인, 김 명진, “TMS320C6000계열 프로세서 활용 DSP 실시간처리,” 생능출판사, 2007.

[5] 이 경태, “Co-FXLMS 알고리듬을 이용한 덕트계의 능동소음제어에 관한 연구,” 한양대학교 대학원, 기계공학과 석사학위논문, 2007.

[6] Hyun-Do Nam, Sung-Dae Suh, Kee-Jong Yoon and Dong-Jun Ahn, "Stabilized multi-channel IIR filters for active control of noise in a duct," The 13th International Conference on Sound and Vibration, pp.1-8, Vienna, Austria, 2006.