

적응 신호 처리와 콤 필터를 이용한 멀티콥터 소리 저감 방법

홍동우, 박상일, 유성근
서울과학기술대학교

{ hdwoo777, sangilparkmail , orcogre } @gmail.com,

Propeller Noise Reduction Method with Adaptive Signal Processing & Comb Filter for Multicopter

Dongwoo Hong, Sangil Park, and Sunggeun Yoo
Seoul National University of science and Technology

요 약

이전까지 많은 연구자들은 적응 신호처리(Adaptive Signal Process)를 이용한 잡음 제거 방법을 연구해 왔다. 그러나, 최근 발전하고 있는 멀티콥터는 프로펠러 모터의 RPM(Revolution Per Minute)이 실시간으로 변하기 때문에 적응 신호처리를 이용하여도 깔끔한 결과를 얻어 내기가 어렵다는 한계가 존재한다. 또한, 특정 주파수를 기준으로 형성되는 고조파(Harmonics)는 적응 알고리즘인 (N)LMS 를 이용한 예측에서 오차를 발생시키는 문제를 발생시킨다. 따라서, 본 논문에서는 멀티콥터를 이용한 음향 취득에 대한 소음 저감 방법으로 회전 속도계(Tachometer), 콤 필터(Comb Filter), NLMS 알고리즘(Normalized Least Mean Square Algorithm)을 이용한 방법을 제안한다.

1. 서론

군사적, 농업, 유통, 연구, 취미생활 등 다양한 분야에서 활용되면서 드론에 대한 연구 또한 활성화 되면서 드론의 기술력은 크게 발전하고 있다. 특히, 최근에는 카메라를 부착한 드론인 멀티콥터를 이용하여 물리적으로 도달하기 힘든 곳, 자연재해의 현장 등을 촬영하고 있고, 이는 실제 방송에서 빈번히 사용되고 있다. 현재 짐벌(Gimbal)과 영상처리 기술의 발달로 흔들림 없는 4K(3840x2160)의 영상 취득이 확실히 보장되고 있는 반면, 음성 취득에 있어서는 한계가 존재하고 있다. 지속적으로 성장하는 멀티콥터 시장 규모와 멀티콥터 캠에 의해 보장되는 고품질 영상을 고려했을 때, 멀티콥터를 이용한 음향 취득에 대한 연구는 반드시 진행될 수 밖에 없다. 하지만 해당 분야에 관한 연구 사례는 굉장히 적다.

따라서, 본 논문에서는 콤 필터와 NLMS 필터를 이용한 멀티콥터 프로펠러 잡음을 제거하는 방법을 제안한다. 희망 신호(Desired Signal)와 프로펠러 잡음(Propeller Noise Signal)이 섞인 입력 하나의 입력 $x(n)$ 과 희망 신호가 주를 이루는 $d(n)$ 을 각각 입력으로 받아, $x(n)$ 을 $d(n)$ 에 근접하게 예측한 결과인 $d'(n)$ 을 출력하는 기존의 방법을 제시하고, 제안 방법을 적용했을 때의 결과를 제시하고 비교, 분석한다.

실험 과정은 다음과 같다. 먼저 포토 다이오드를 이용해 RPM 을 측정하고, 측정된 RPM 값을 주파수로 변환시켜 콤 필터의 소거 대역(Stop Band)값으로 설정한 후, 2 개의 입력 신호를 각각 통과시킨다. 이후, 이 값들을 NLMS Algorithm 를 이용해 구현한 NLMS 필터 거치는 방법이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서 제안하는

방법에 대한 구체적인 설명을 살펴본 후, 3 절에서 제안하는 방법을 적용한 최종 결과를 도출하고, 오차율과 SNR 을 통해 제안된 방법을 통한 향상 가능성을 확인한다. 마지막으로 4 절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 제안 방법

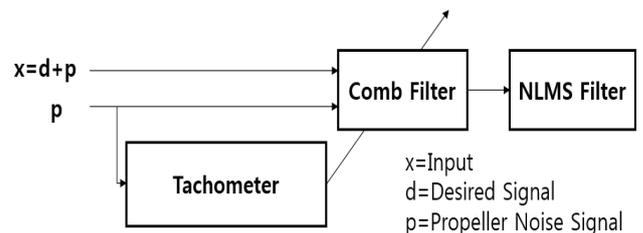


그림 1. 제안 방법에 대한 블록도

제안 방법은 그림 1 과 같다. 2 개의 입력은 각각 프로펠러 잡음(p)과 희망 신호(d)가 섞인 신호(x)와 프로펠러 잡음(p)로 구성된다. 프로펠러 잡음인 p 를 이용해 RPM 을 측정하고, 프로펠러의 중심 주파수(Fundamental Frequency, f_0)를 계산하여 콤 필터의 소거 대역을 설정한다. 이후, 2 개의 입력 모두가 콤 필터를 거친 후, 마지막으로 NLMS 필터를 거친다. 회전 속도계는 포토 다이오드와 아두이노 우노를 사용하여 구현하였으며, 콤 필터를 사용한 이유는 멀티콥터 날개의 주파수 스펙트럼이 그림 2 와 같이 특정 중심 주파수를 기준으로 고조파를 형성하기 때문이다.

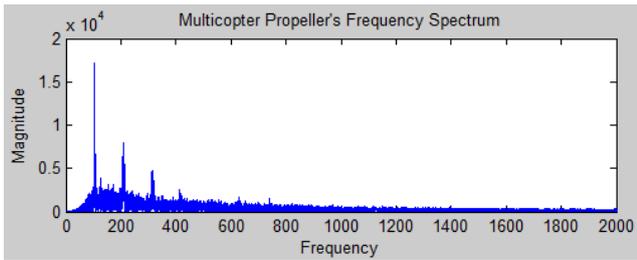


그림 2. 멀티콥터 프로펠러의 주파수 응답

3. 실험 환경 및 결과

본 실험은 매트랩(Matlab)을 이용하여 진행하였다. 실험에 사용한 음향은 로데(Rode)사의 Videomic Go 라는 마이크로폰을 사용하여 2 채널 스테레오 방식으로 취득하였으며, 샘플링 주파수 (Sampling Frequency, f_s)는 44.1kHz 이다. NLMS 알고리즘에 사용된 필터의 길이(Filter Length)와 스텝 사이즈(Step Size)는 각각 256, 0.15 이다.

제안 방법에 대한 평가는 적응 필터에서의 오차 신호(Error Signal, $e(n)$), 제곱 오차(Square Error), SNR(Signal-to-Noise Ratio), 평균 제곱 오차(Mean Square Error)를 이용한다.

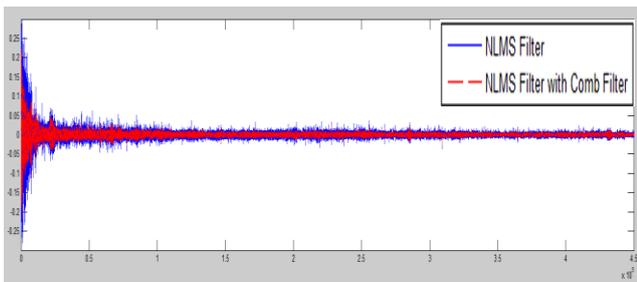


그림 3. 오차 신호(Error Signal, $e(n)$)
NLMS 필터에서의 에러신호(파랑),
(LMS+Comb) 필터에서의 에러신호(빨강)

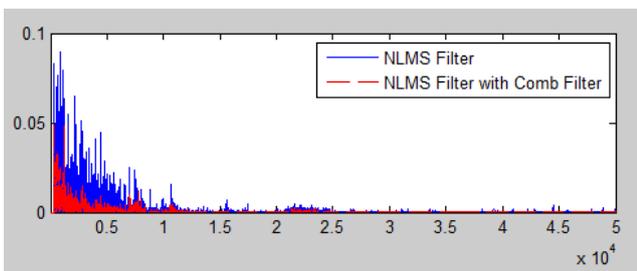


그림 4. 제곱 오차(Square Error)
NLMS 필터에서의 제곱오차(파랑),
(LMS+Comb) 필터에서의 제곱오차(빨강)

그림 3 을 통해 오차 신호가 줄었음을 확인하였고, 그림 4 를 통해 구한 제곱 오차에 대한 평균, 즉 제곱 평균 오차(MSE, Mean Square Error)를 계산하여 비교하였다. 기존 적응 신호처리 알고리즘 중 하나인 NLMS 알고리즘만을 사용했을 때와 제안 방법을 비교했을 때, SNR 은 0.026, MSE 는 72 ×

10^{-6} 감소하였다. 즉, 기존 NLMS 필터만을 사용했을 때 보다 SNR 측면으로는 22.4%, MSE 측면으로는 34.8% 성능이 향상되었음을 확인하였다.

표 1. 성능 평가 항목과 수치

Parameter	NLMS	NLMS + Comb
SNR(단위: dB)	-0.0335	-0.0075
MSE	1.1037×10^{-4}	0.38382×10^{-4}

* SNR 은 기존 입력신호($x=d+p$)와 결과값을 이용해 계산하였고, MSE 는 그림 4 의 값들의 평균값임.

4. 결론

본 논문에서는 멀티콥터 프로펠러를 이용한 음성 취득 효율을 높일 수 있는 방법을 제시하였다. NLMS 필터에 Comb Filter 를 추가적으로 적용한 결과 SNR 은 약 22.4%, MSE 가 약 34.8% 효율이 증가하였다는 사실을 확인하였다.

또한, 회전 속도계는 현재 판매되는 대다수의 드론은 RPM 에 대한 정보를 직접적으로 받을 수 없기에 추가적으로 설계하여 실험하였다. 앞으로 다수의 개발용 드론 및 시판될 드론들에서는 확실한 RPM 을 받아 효율이 더욱 증대될 것을 기대할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-16-1344 , 방송 중계 차량 탑재형 멀티콥터 캡 시스템 기술 개발]

참고문헌(Reference)

- [1] B. Widrow, et al., "Adaptive noise cancellation: Principles and applications," Proceedings of the IEEE, vol. 63, no. 12, pp.1696-1716, 1975
- [2] S. Yoon, et al., "Advanced sound capturing method with adaptive noise reduction system for broadcasting multicopters," in Proc. IEEE Int. Conf. Consum. Electron., Las Vegas, USA, 2015, pp. 26-29.
- [3] J. Klapel, "Acoustic Measurements with a Quadcopter: Embedded System Implementations for Recording Audio from Above," Norwegian University of Science and Technology, 2014.
- [4] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, 5th Edition. Pearson, 2014
- [5] Ali H. Sayed, Fundamentals of Adaptive Filtering, Wiley, 2003
- [6] John G. Proakis, et al., "Digital Signal Processing using MATLAB," 3rd Edition, 2011