

# 가중 위치값을 응용한 섬모 진동 주파수 측정에 관한 연구

김영희\*, 홍영택\*, 최태영\*

\*아주대학교 전자공학과

e-mail: woody@naver.com

## A Study on Measuring Ciliary Beat Frequency Using the Weighted Average

Young-Hoe Kim\*, Young-Taek Hong\*, Tae-Young Choi\*

\*School of Electrical & Computer Engineering College of Information Technology, Ajou University

### 요 약

폐나, 기관지 등의 호흡기, 기타 장기에는 매우 미세한 크기의 털 형태의 섬모라고 하는 부속기관을 가지고 있다. 점액을 이동시키고 기타 물질들을 배출할 때 유용한 역할을 하는 이 섬모들은 동기화된 패턴으로 진동을 한다. 이러한 움직임은 각각의 종이 가진 특성뿐만 아니라, 같은 종의 현재의 상태에 따라 다양한 특징들을 보여준다. 시약 투여 시 혹은 환경 변화에 따른 생체 반응 등과 같이 다양한 특성 및 반응 연구에 이러한 섬모의 진동 주파수 (Ciliary Beat Frequency, CBF)를 이용하고 있다. 섬모의 진동 주파수 측정에 대해 몇몇 연구가 있어왔으나, 규격화되거나 대표적인 방법은 아직까지 없으며, 각각의 방법마다 잡음에 약하든지, 빠르게 움직이는 섬모의 주파수 측정에 어려움이 있거나, 고비용 시스템 필요 등의 단점들이 있다. 최근 들어 영상 기술의 발달로 영상을 이용한 CBF 측정 방법들이 제안되고 있다. 본 논문에서는 CCD 카메라로 촬영한 영상을 이용해서 섬모의 영상에서 가중 평균을 응용한 위치 값으로 섬모의 움직임을 추출, FFT를 통해 보다 정확하고 간편하며 좀 더 다양한 영상에 적용시킬 수 있는 CBF 측정 방법을 제시한다.

### 1. 서론

섬모 진동 주파수(Ciliary Beat Frequency, CBF)는 다양한 연구에 쓰이고 있다. 질병이 있을 때와 없을 때, 환경 변화 및 약 투여 시 생체 반응, 종간의 차이 등을 측정할 때 많이 활용되고 있다. CBF를 객관적이고 좀 더 정확하게 측정하기 위해, 많은 방법들이 시도되었다. 초기에 시도되었던 방법은 섬모가 있는 조직에서 일정한 형태의 섬모의 진동으로 발생하는 빛과 반사되는 빛들을 감광성 기계를 통해 전기적인 신호로 바꾸어, 이 신호들은 오실로스코프를 통해 모니터링 하였다[3]. 이러한 방법을 통해 얻어진 결과는 섬모의 진동에 따라 빛의 발생이 일정치 않기에 정밀도가 많이 떨어졌으며, 문제점 개선을 위해 레이저를 이용한 방법, 빛의 양을 조절하는 조리개 사용 등으로 측정 감도를 높였다[1][2].

최근에는 CCD 카메라 및 PC 성능의 개선, 영상처리 기술의 발달 등으로 영상처리를 통한 섬모의 진

동 주파수를 측정하는 방법이 개발되어 많이 사용되고 있다. 섬모의 영상을 Grabbing Board를 사용하여 CCD 카메라로부터 바로 PC로 입력하여 처리가 가능해짐으로써 빠르고 값싼 시스템 개발이 가능해졌다. CCD 카메라를 이용해 섬모를 위에서 찍은 영상을 가지고 각 블록 내에서 첫 프레임과 각 프레임과의 각 픽셀의 그레이 레벨 값 차를 구하여 모든 차 값의 평균을 통해 CBF를 구하는 방법이 제안되었다[3]. 하지만, 이 방법도 단순히 블록 내의 밝기 값을 통해 용털의 움직임을 추정하는 것이기에 잡음이 발생하거나 섬모의 빠른 움직임 처리에는 많은 오차가 생긴다. 본 논문에서는 주위 잡음에 대한 민감성을 극복하고 상황 변화에 대해 강인한 알고리즘 구현을 위해 섬모의 윗면 영상 대신, 섬모의 측면의 영상을 사용했다. 섬모의 가중 위치 값을 이용하여 CBF를 측정하는 새로운 알고리즘을 제안한다.

2장에서는 제안된 알고리즘 구현 방법에 대한 설명

을 하고 3장에서는 실험 결과 및 분석, 4장에서는 본 방법의 효용성과 future work에 대해 논의한다.

## 2. 섬모 진동 주파수 측정 알고리즘 구현

실험 섬모의 영상은 788x238 pixel 크기의 58~80 frame color 영상으로 정확한 섬모의 움직임 분석을 위해 옆에서 섬모를 촬영한 영상을 사용하였다. 알고리즘 적용을 위해 color영상을 gray-level 영상으로 바꾸어야 하는데 보통 많이 사용하는 R, G, B 값을 모두 이용하여 gray-level 영상으로 바꾸는 방법을 사용하지 않고 배경색에 따라 가변적으로 R, G, B 값 중 하나를 gray 값으로 선택했다. 배경에 포함된 RGB값 중 분포가 큰 RGB 값을 gray 값으로 선택함으로써 배경 gray 값과 용털 gray값의 차이를 높였다. 실험 결과 R, G, B 값을 모두 이용, 일반적으로 사용하는 계산식을 통해 gray-level 영상으로 변환하고 histogram equalization 등의 전처리를 하는 것보다 간단하고 잡음에도 강하며, 용털 부분이 보다 선명하게 나타났다. 그림 1은 원영상과 두 가지 방법에 의해 얻은 gray 영상들을 보여준다.



(a) 섬모의 원영상



(b) 배경색에 따라 가변적으로 R,G,B 값 중 하나를 gray-level 값으로 선택한 gray 영상(Blue 값 선택)



(c) RGB 값을 이용해 식으로 계산된 gray 영상

그림 1. 원영상과 gray 영상들

섬모의 세밀성에 있어서는 (c) 영상이 더 나아 보이지만, 배경과의 구분에 있어서는 (b) 영상이 우수함을 알 수 있다. (b) 영상 결과는 pixel 값에 가중치

를 곱하는 본 논문의 알고리즘에서 성능 향상에 도움을 준다.

sample 영상에서 배경 gray 값은 255, 혹은 255에 근접하는 값이고, 섬모 부분은 200 전후의 값을 나타낸다(더 어두운 부분은 세포조직임). 그림 1에서도 알 수 있지만, 섬모도 털의 형태이기 때문에 배경에서 반투과되어 올라오는 빛으로 인해 섬모의 위치에서도 가끔 gray 값이 큰 경우(배경색과 비슷)가 발생하며, 그에 따라 Hough 변환 등의 방법을 통한 경계선을 검출이나, 이진화를 이용한 섬모의 위치 값을 찾기에는 많은 어려움이 있다.

본 논문에서 제안된 방법은 영상에서 하나의 지점을 선택하게 되면 그 지점에서 수직선에 위치하는 픽셀들을 이용하여 섬모의 상하 움직임을 포착하는 방법으로, 각각의 높이마다 다른 가중치를 픽셀의 gray 값에 곱해주어 합하는 방법을 통해 각 프레임의 섬모의 위치 값을 결정하였다. 진동하는 섬모의 최대 길이는 약 80 pixel 정도로 섬모의 중간 지점을 선택하였을 경우, 섬모의 움직임이 모두 포함될 수 있는 수직선 방향으로 약 60pixel 정도를 계산하였다. 가중치는 선택된 수직선 방향 위쪽 pixel에 가장 큰 가중치를 주고 수직선상의 밑의 부분 pixel에는 가중치를 거의 주지 않았다.

각 프레임에서의 선택된 수직선상의 계산 값은

$$Weighted Value_{per frame} = \sum_{n=1}^{60} (255 - P_n) * W_n$$

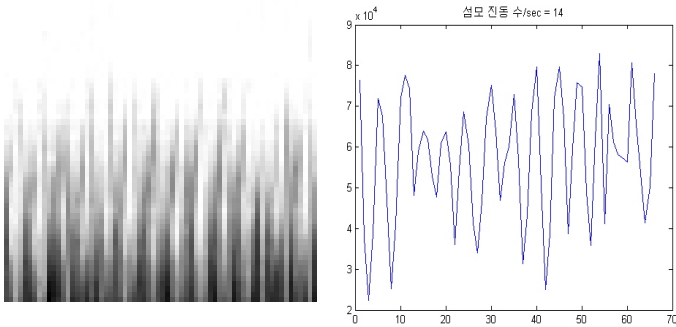
$P_n$ 은 각 픽셀의 gray-level 값

$W_n$ 은 각 픽셀의 가중치

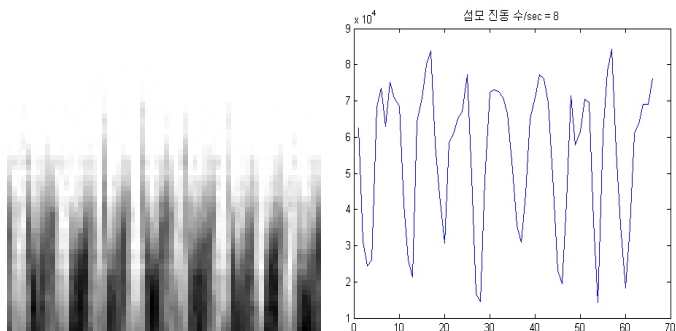
이다. gray-level 값이 255에 가까운 배경색의 경우  $0 * W_n$ 이기 때문에, 가중치의 영향을 받지 않으며, 섬모가 존재 시에 위치에 따라 가중치의 영향을 받을 수 있다. 잡음이 발생하더라도 수직선상에 있는 다른 pixel들의 값들에 따라 어느 정도 보완이 된다. 계산된 frame 별 가중치 값들에 FFT를 적용하면 구하고자 하는 섬모의 진동 주파수를 구할 수 있다.

## 3. 실험 결과

그림 2는 66frame 동영상을 가지고 실험을 하여 각 frame별로 높이 60pixel 크기의 수직선상 pixel들을 잘라내어 붙인 그림과 가중치 값들을 계산하여 66개의 프레임을 나타낸 그래프이다. 섬모의 높낮이와 비교하여 정확하게 측정되고 있음을 알 수 있다.



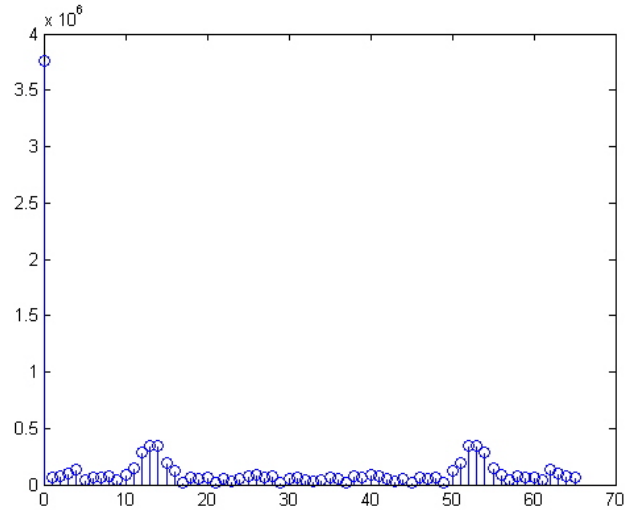
(a) 진동 주파수 14Hz의 그림과 가중치 계산 그래프



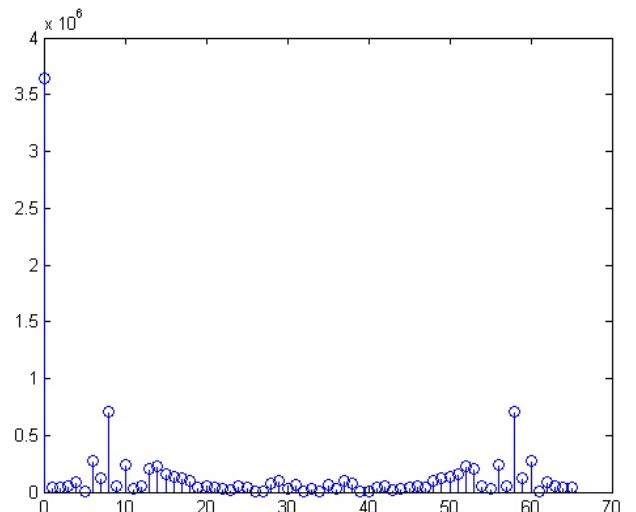
(b) 진동 주파수 8Hz의 그림과 가중치 계산 그래프

그림 2. 66frame동안 선택된 수직선상 gray-level pixel 값들을 붙인 그림과 가중치 계산을 통해 수치화한 그래프

각 frame에서 잡음이 존재하더라도 60개 pixel 중 잡음을 제외한 나머지 pixel들이 수직선상 위치에 따라 가중치를 통해 보완함으로써, 잡음에 강인하고 보다 정확한 알고리즘을 보여준다. 60frame에서 80frame의 동영상을 가지고 실험을 한 결과, 저속의 섬모 진동 주파수에서 뿐만 아니라, 고속의 진동 주파수에서도 비교적 정확한 측정이 가능했다. 그림 3은 14Hz, 8Hz의 주파수를 가지는 영역의 섬모 영상 부분에 가중치 알고리즘을 적용 후 FFT를 적용하여 CBF를 구한 그래프들이다. 진동 주파수가 점점 올라갈수록 한 주기 당 frame 간격이 좁아지면서 진동 주파수가 낮을 때에 비해 오차가 생길 가능성이 있음을 그림 3의 (a)에서 관찰되어진다. 그림 3의 (b)에서는 FFT 최댓값이 다른 값들에 비해 뚜렷하게 차이가 남을 알 수 있지만, 14Hz의 (a)에서는 FFT 계산 값 13, 14의 가중치 계산 값이 크게 차이 나지 않음을 볼 수 있다. 즉 주파수 값이 높아짐에 따라 크지는 않지만, 오차가 발생할 가능성이 있음을 나타낸다. 이러한 문제점은 영상의 frame 수를 늘림으로써 해결이 가능하다.



(a) 그림 2.(a)에 FFT를 적용한 그래프



(b) 그림 2.(b)에 FFT를 적용한 그래프

그림 3. 진동 주파수 계산을 위한 FFT 그래프

sample 영상으로 66frame/sec 동영상을 사용했기 때문에 보기 쉽도록 1초간의 frame, 즉 66frame의 결과의 그래프를 보였으며, 더 많은 프레임의 결과 값을 표본으로 사용할 경우에도 주파수 측정의 정확도에서는 차이가 없었다.

#### 4. 논의

실험한 컴퓨터의 사양은 Pentium 4 1.8G 512RAM 이고, MATLAB을 이용하였으며, 2장에서 언급했던 바와 같이 섬모의 실험 영상은 788x238 pixel 크기의 58frame과 66frame, 80 frame 등의 영상을 이용하여 실험을 하였다.

이번 연구에서 우리는 섬모의 측면 영상을 이용하여 섬모의 진동 주파수를 측정하는 새로운 알고리즘

을 개발하였다. 이는 우선 사용자에게 의해 한 지점이 선택이 되면 그 지점으로부터 위로 60pixel까지의 수직선상의 gray-level 값들에 위치에 따른 가중치를 곱해서 합을 구한다. 그 값들을 각 frame의 위치 값들로 설정 후 FFT를 취함으로써 주파수를 구하는 방식이다. 이를 통하여, 다른 방식보다 잡음에 강하고 정확하게 CBF를 구할 수 있었으며, 처리 시간 또한 간단한 알고리즘으로 인해 다른 알고리즘보다 빠른 편이었다. 하지만, 높은 주파수를 가지는 CBF를 정확하게 측정하기 위해서는 보다 많은 frame을 가지는 영상이 필요했다.

이번 연구에서 제안한 알고리즘은 한 영상 내에서 원하는 지점의 CBF만을 측정할 수 있지만, 사용자가 영역을 선택하는 수동적 모드였다. 섬모의 영역을 자동적으로 구분하여 한 번에 영상 내의 최고 CBF값과 최저 CBF값을 구하고, 영상의 크기 및 섬모의 크기에 따라 자동적으로 조건을 조절하며, 섬모의 수직 움직임과 수평 움직임을 모두 관찰하여, 2차원적인 움직임을 파악할 수 있는 알고리즘의 고안이 앞으로 해야 할 과제이다.

#### 참고문헌

- [1] K.J.A.O Ingels, et al, "A study of the photoelectrical signal from human nasal cilia under several conditions". Acta Otolaryngol, vol. 112, pp.831-838, 1992.
- [2] John R. Kennedy, et al, "The study of ciliary frequencies with an optical spectrum analysis system", Experi Cell Res, vol. 135, pp.147-156, 1981.
- [3] W.J. YI, K.S. PARK, Y.G. MIN, and M.W. SUNG, "Distribution mapping of ciliary beat frequencies of respiratory epithelium cells using image processing," Med. & Bid Eng. & Comput., vol. 35, pp. 595-599, 1997.
- [4] W.J. Yi, K. S. Park, C. H. Lee and C. S. Rhee "Simultaneous measurement of ciliary beat frequency and wave disorder on respiratory epithelial cells". Proceedings of the 25' Annual International Conference of the IEEE EMBS Cancun, Mexico September 17-21.2003
- [5] Christopher G. Relf, 'Image Acquisition and Processing with LabVIEW', pp207-210 (CRC Press LLC, 2004)
- [6] Rafael C.Gonzalez, Richard E.Woods and Steven L. Eddins, 'Digital Image Processing Using MATLAB', pp194-202 (Prentice Hall, New Jersey, 2004)