영상 처리를 이용한 수면 감시에서의 ROI 최적화 알고리즘에 관한 연구

신길현, 김인권, 신동익*, 허수진**
울산대학교 대학원 의과학과, 의과대학 의공학교실**, 서울아산병원 의공학과*

A Study on the ROI Optimizing Algorithms
for Accurate Breath Measurements in Sleep Using Image Processing

。G.H. Shin, I.K. Kim, D.I. Shin*, S.J. Huh**
Dept. of medical Science, Graduate School,
University of Ulsan College of Medicine,
Dept. of Biomedical Engineering, Asan Medical Center*,
Dept. of Biomedical Engineering, University of Ulsan College of Medicine**

ABSTRACT

In this study a system that can monitors respiration non-invasively and automatically, by identifying the movement of the chest and abdomen using image processing technique during sleep, was implemented. We improved the conventional center-of-mass method and further apply the projection-profile method. A sleep apnea is the most frequent symptom among sleep disorders. As the number of aged people are increasing, research activities are also increasing to monitor sleeping disorders of the elderly who lives alone. We proposed a new processing algorithm to measure the quantity of breaths accurately.

We can see breathing status in real time based on the acquired breathing waves. To verify the designed system, the values from the polysomnography were compared and analyzed to validate the system accuracy. As a result, the mean accuracy is 96%.

서 론

수면은 인간 생활의 1/3을 차지하는 중요한 요소로서 생활의 질이 향상되면서 수면 중에 발생할 수 있는 여러 가지 장애에 대한 관심이 높아지고 있다. 대표적인 수면 장애인 수면 무호흡 증후증은 가장 흔히 볼 수 있는 질환으로 수면 중 호흡 중단이 반복적으로 나타난다. 이는 전체 인구의 4%, 중년 남성의 9%, 중년 여성의 4%에서 동반되며, 노년에서는 남녀의 차이 없이 약 40%에서 관찰된다.

오늘날 수면 장애를 진단하는 가장 대표적인 방법은 수면 다원화 검사이다. 이 검사는 수면 중의 근전도, 심전도, 안전도, 혈압, 호흡, 산소포화도, 사지 운동, 기관지음, 코골음 등을 측정하고 종합적으로 분석하여 여러 가지 형태의 수면 장애를 진단하는 방법이다. 이러한 수면 다원화 검사는 여러 종류의 센서를 몸에 부착하기 때문에 피검사자의 행동을 제약하며 이로 인해 정상적인 수면이 이루어지지 않는 경우도 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 측정 신호의 종류를 줄여 환자의 불편함을 최소화하고 자동 진단 알고리즘을 도입하여 전체적인 검사 시간을 줄이고자 하는 연구가 진행되고 있다. 최근에는 CCD 카메라를 이용하여 호흡에 의해 움직이는 흉부의 영상을 처리함으로써 간접적으로 호흡을 측정하는 방법이 널리 쓰이고 있다. 이 방법은 피검사자를 전혀 구속하지 않는다는 장점을 지니고 있으나, 수면 중의 움직임으로 인한 계측 부위의 설정에 어려움이 있고 따라서 측정의 정확도가 떨어진다는 단점이 있다.

본 연구에서는 특히 무구속 측정을 필요로 하는 독거 노인에 최적의 방법인 CCD 카메라를 이용하는 영상 처리 방법에서 측정의 정확도를 향상하기 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘의 핵심은, 호흡에 의해 움직이는 흉부의 관심 영역(ROI)을 자동 추적하는 데 있어서 기존의 무게 중심법을 개선하고 여기에 투영 프로파일을 적용하여 그 정확도를 향상시키는 데 있다.

본 론

1. 호흡계측 알고리즘

Figure 1은 영상처리를 이용하여 호흡을 측정하는 시스템의 일반적인 알고리즘을 보여준다. 입력 영상의 잡음을 제거하기 위한 전처리를 거쳐 최초 일정 기간 동안에는 알고리즘이 정확히 수행되도록 각종 변수들을 설정하게 된다. ROI 설정의 기준은 호흡에 의한 움직임이며, 호흡량의 측정은 ROI 내의 화소들의 변화량을 계산함으로써 이루어진다.

ROI 내의 화소들의 변화량은 현재 입력되는 영상의 화소값과 몇 프레임 이전의 화소값의 차이를 구하고 이를 ROI 전체에 대해 합산한 결과가 된다.

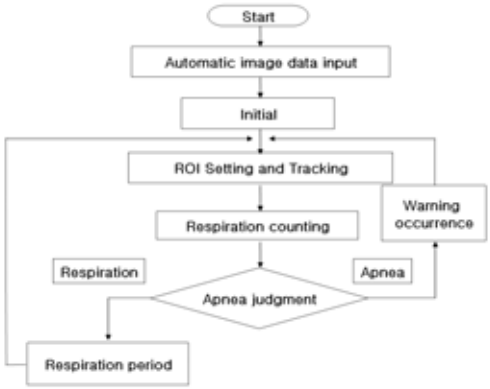

Figure 1. 호흡계측 알고리즘

2. 무게 중심법을 이용한 ROI의 설정

호흡에 의한 움직임은 절대값 차 연산의 결과에서 유의한 크기의 화소값으로 나타나며 이러한 변화의 전체적인 양을 계산하면 호흡의 정도를 간접적으로 나타낼 수 있게 된다. 실제의 경우에서는 처리 속도의 개선과 측정의 정확성을 위하여 일정한 크기의 관심 영역을 찾아서 계산을 하게 되며 이러한 방법 중 대표적인 것이 바로 무게 중심법이다.

기존의 방법에서 무게 중심은 다음과 같은 방법으로 구한다. 우선, 배경잡음을 제거하기 위하여 Niblack의 방법을 적용하여 문턱치를 설정하였다. 이 방법은 전체 배경 영상에서 계산된 평균 μ와 표준편차 σ를 이용하여 문턱치 T를 결정한다. 문턱치를 결정하는 식은 아래와 같다.

$$T = \mu + \sigma\alpha \qquad (1)$$

여기에서 α는 배경 잡음의 정도, 배경 영상의 불균일성 등의 영향을 고려하여 실험적으로 결정하게 되는데, 본 연구에서는 α = 1.5로 하였을 때 호흡의 움직임에 의한 변화량을 최대한 유지하면서 배경 잡음이 가장 효과적으로 제거되었다.

이렇게 배경 잡음이 제거된 영상에서 무게 중심을 이용한 ROI의 설정 과정은 다음과 같다. 임의의 영역에서 각 화소의 밝기를 화소값이라 하고 이를 그 화소의 무게에 대응시키면, 크기가 m × n 인 영상의 총 무게는 다음과 같다.

$$A = \sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1} I(i,j) \qquad (2)$$

이 때, I(i,j)는 m x n 영역에서 (i,j)에 위치한 화소의 밝기, 즉 화소값이다. 식(3), 식(4)과 같이 x, y 방향에서 화소의 좌표에 화소값으로 가중치를 주고 각각을 평균하면,

$$x_{center} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1}\sum_{j=0}^{m-1} iI(i,j)}{A} \qquad (3)$$

$$y_{center} = \frac{\sum_{i=0}^{m-1}\sum_{j=0}^{n-1} jI(i,j)}{A} \qquad (4)$$

이 되며 이는 n x m 영역의 무게 중심이 된다. 호흡량 측정의 기준이 되는 ROI는 이러한 무게 중심을 기준으로 일정한 크기를 취하게 된다.

이러한 무게 중심법에 의한 호흡 측정의 정확도는 입력 영상의 품질과 호흡에 의한 움직임을 대표하는 ROI를 얼마나 정확하게 추적하느냐에 달려 있다. 본 논문에서는 입력 영상의 품질을 높이기 위하여 낮은 조도의 CCD 영상에서 흔히 나타나는 열잡음의 일종인 CCD 잡음을 메디안 필터를 적용하여 효과적으로 제거하였다. 또한, 불균일한 조명이나 호흡의 1/4주기 이내에서 나타나는 배경의 변화로 인한 오차를 줄이기 위하여 적절한 문턱치를 설정하여 배경 잡음을 제거하였다. 이렇게 하여 순수한 호흡으로 인해 움직이는 부분만을 ROI로 설정함으로써 정확도가 향상되었다.

3. 무게 중심법의 개선, 투영 프로파일의 적용

무게 중심법에서 하나의 문제점은, 고정된 크기의 ROI를 사용함으로써 피검사자의 자세 변화나 이불을 덮은 상태 등의 변화로 ROI를 벗어나는 넓은 범위에 걸쳐 호흡에 의한 움직임이 나타날 때 호흡량의 측정이 부정확해진다는 것이다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 호흡에 의한 움직임 영역의 크기에 따라 자동으로 그 크기가 변하는 ROI를 설정하도록 하였으며, 다음의 투영 프로파일을 적용하여 이를 구현하였다.

위의 무게 중심법에 의해 구한 중심을 기준으로 흉부 크기보다 더 넓은 영역을 잡고 이 영역 내에서 수평축(x축)에 영상을 투영하여 얻은 프로파일을 H_{PP}(Horizontal Projection Profile), 수직축(y축)에 투영하여 얻은 프로파일을 V_{PP}(Vertical Projection Profile)라 한다. 투영 프로파일은 지정된 방향으로 진행하면서 만나는 화소들의 수를 계산하는 방법이다. 호흡에 의한 의미있는 움직임은 투영 프로파일에서 일정한 크기 이상으로 나타날 것이며 이를 기준으로 ROI의 크기를 결정하게 된다.

본 연구의 영상 시스템에서 환자의 흉부는 대략 80 × 80 화소의 크기로 나타나며, 투영 프로파일을 적용하기 위한 영역은 이의 4배인 160 × 160 크기로 하였다.

투영 프로파일을 적용할 영역의 중심은 무게 중심법을 이용하여 구한 (x_{center}, y_{center})가 된다. 투영 프로파일에 의한 ROI의 범위는 다음 식과 같이 구하였다.

$$H_{PP}[i] = \sum_{j=0}^{n-1} I(i,j) \quad i = 0,1,\cdots,m-1 \qquad (5)$$

$$V_{PP}[j] = \sum_{i=0}^{m-1} I(i,j) \quad j = 0,1,\cdots,n-1 \qquad (6)$$

$$A_H = \sum_{i=0}^{m-1} H_{PP}[i]$$

$$a_H = \sum_{i=0}^{x_{start}-1} H_{PP}[i],\quad b_H = \sum_{i=x_{end}-1}^{m-1} H_{PP}[i] \qquad (7)$$

$$A_V = \sum_{j=0}^{n-1} V_{PP}[j]$$

$$a_V = \sum_{j=0}^{y_{start}-1} V_{PP}[j],\quad b_V = \sum_{j=y_{end}-1}^{n-1} V_{PP}[j] \qquad (8)$$

x 방향의 ROI는 시작위치 0에서부터 Hpp를 누적하여 전체 Hpp 누적량의 3%가 되는 지점을 x_{start}, 끝지점에서 내려오면서 누적하여 전체의 3% 되는 지점을 x_{end}로 하였다. 이는 호흡의 움직임으로 인한 화소의 변화가 가장자리에서 불연속적으로 나타남으로써 ROI가 지나치게 커지는 것을 방지해 준다. 수직 프로파일 VPP의 경우에도 마찬가지로 y_{start}, y_{end}를 각각 구한다.

이와 같이, 개선된 무게 중심법에 투영 프로파일을 적용하면 호흡에 의한 움직임에 따라 최적 크기의 ROI를 연속적으로 적용할 수 있어서 호흡량 측정의 정확도가 향상되며, 대부분의 경우 고정된 크기의 ROI보다 작은 크기를 갖게 되기 때문에 처리속도도 증가하게 된다. Figure 2는 투영프로파일을 적용하여 크기가 최적화된 ROI를 보여준다

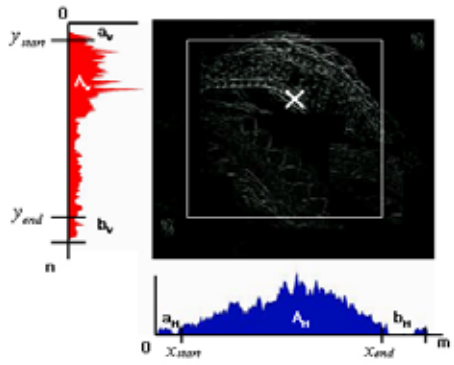

Figure 2. 투영프로파일을 이용한 ROI 최적화

실 험

실험은 피검사자 10명을 대상으로 8~10 시간 정도의 수면을 취하게 하고 수면 다원화 검사와 본 연구에서 제안한 무게 중심법과 투영 프로파일 방법을 통해 얻은 결과와 비교하였다. 피검사자들의 수면 자세는 영국 수면평가자문연구소(SAAS)에서 분석한 6가지의 대표적인 자세(태아형, 통나무형, 갈망형, 군인형, 자유낙하형, 불가사리형)를 포함하도록 하였다. 실험의 결과는 평균적으로 무호흡에 관한 정확도는 무게 중심법에서 85.9%, 투영 프로파일을 병행한 방법에서는 91.9%를 보였으며, 정상호흡에 관한 정확도는 각각 90.5%, 96.2%를 보였다. 이러한 결과로부터 단순한 무게 중심법 보다는 투영 프로파일을 병행한 방법에서 정확도가 유의할 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

결 론

수면 무호흡증은 수면 장애의 대표적인 증상으로 독거 노인의 증가와 함께 이를 무구속적으로, 또한 지속적으로 관찰하는 것이 필요하다. 여러 가지 연구의 결과, CCD 카메라의 영상을 처리하는 방법이 현재까지는 이러한 목적에 가장 적합한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 이러한 영상처리 방법에서 호흡량을 정확하게 측정하기 위한 새로운 ROI 자동 추적 알고리즘을 제안하였다. 새로운 ROI 자동 추적 알고리즘은 기존의 무게 중심법을 개선하고 여기에 투영 프로파일을 보완적으로 적용하여 그 정확성을 높였다.

본 연구의 결과는 간편하고도 비교적 저렴한 비용으로 구현될 수 있기 때문에, 병원에서의 수면 다원화 검사를 대체할 수 있을 뿐 아니라 차후 실버 타운 등의 독거 노인이 생활하는 가정에도 쉽게 적용할 수 있을 것이다. 단, 카메라의 사용으로 인한 사용자의 심리적인 부담은 해결되어야 할 문제이고, 다양한 형태의 환경에서도 안정적이고 정확하게 호흡 감시가 이루어지기 위한 알고리즘의 지속적인 개선이 이루어져야할 것이다.

참 고 문 헌

1) Shepard JW Jr. Gas exchange and hemodynamics during sleep. Med Clinic North America 1985;1243-1263.

2) Z Shinar, A Baharv, S Akselrod. Obstructive sleep apnea detection based on electrocardi ogram analysis. cardiology 2000;27:757-760.

3) Richard Ferber, Richard Millman, Michael Coppolla, John Fleetharm. Portable recording in the assessment of obstructive sleep apnea. sleep 1994;17(4):378-392.

4) J.S.Millege, et.al. Inductive plethysmonraphy a new respiratory transducer. Journal of Phy siol 1977;267:4-5.

5) Hiroaki Nakai, Ken Ishihara, Yoshio Miyake, Mutsumi Watanable. Non-restrictive visual respiration monitoring. pattern recognition, Proceedings 15th International Conference 2000;647-651.

영상 처리를 이용한 수면 감시에서의 ROI 최적화 알고리즘에 관한 연구

신길현, 김인권, 신동익*, 허수진**
울산대학교 대학원 의과학과, 의과대학 의공학교실**, 서울아산병원 의공학과*

A Study on the ROI Optimizing Algorithms for Accurate Breath Measurements in Sleep Using Image Processing

。G.H. Shin, I.K. Kim, D.I. Shin*, S.J. Huh**
Dept. of medical Science, Graduate School,
University of Ulsan College of Medicine,
Dept. of Biomedical Engineering, Asan Medical Center*,
Dept. of Biomedical Engineering, University of Ulsan College of Medicine**

ABSTRACT

In this study a system that can monitors respiration non-invasively and automatically, by identifying the movement of the chest and abdomen using image processing technique during sleep, was implemented. We improved the conventional center-of-mass method and further apply the projection-profile method. A sleep apnea is the most frequent symptom among sleep disorders. As the number of aged people are increasing, research activities are also increasing to monitor sleeping disorders of the elderly who lives alone. We proposed a new processing algorithm to measure the quantity of breaths accurately.

We can see breathing status in real time based on the acquired breathing waves. To verify the designed system, the values from the polysomnography were compared and analyzed to validate the system accuracy. As a result, the mean accuracy is 96%.

Key words : Sleep Apnea, Polysomnography, ROI optimize, center-of-mass, projection profile