

수면 중 돌연사 감지를 위한 비디오 모션 분석 방법

이승호
한국기술교육대학교 융합학과

Video Motion Analysis for Sudden Death Detection During Sleeping

Seung Ho Lee

Department of Future Technology, KOREATECH

요 약 수면 중 돌연사는 급성 심근경색 등의 이유로 노인 뿐 만 아니라 영아나 20-40대와 같은 비교적 젊은 층에서도 종종 발생하고 있다. 수면 중 돌연사는 미리 예측하기 어려우므로 이를 방지하기 위해서는 수면 모니터링이 필요하다. 본 논문에서는 별도의 센서 부착 없이도 수면 중 돌연사 감지를 할 수 있는 새로운 비디오 분석 방법을 제안한다. 제안하는 비디오 분석 방법에서는 호흡에 의한 미세 움직임을 감지하기 위해 모션 증폭 기법을 적용한다. 모션 증폭을 적용했는데도 프레임 간 차이가 거의 없는 경우, 모션이 존재하지 않아 돌연사 가능성이 있는 것으로 판단한다. 수면 중인 아기를 촬영한 비디오 두 편에 대해 모션 증폭을 적용한 결과, 호흡에 의한 미세 모션을 정확하게 감지하였고, 이는 수면 상태와 돌연사를 구분하는데 유용할 것으로 판단되었다. 제안하는 비디오 분석 방법은 신체에 센서 부착을 필요로 하지 않으므로 아기를 키우는 가정이나 독신 가정에서 편리하게 활용될 수 있을 것이다.

Abstract Sudden death during sleep often occurs in different age groups. To prevent an unexpected sudden death, sleep monitoring is required. This paper presents a video analysis method to detect sudden death without using any attachable sensors. In the proposed method, a motion magnification technique detects even very subtle motion during sleep. If the magnification cannot detect motion, the proposed method readily decides on abnormal status (possibly sudden death). Experimental results on two kinds of sleep video show that motion magnification-based video analysis could be useful for discriminating sleep (with very subtle motion) from sudden death.

Keywords : Sudden Death Detection, Video Analysis, Sleep Monitoring, Computer Vision, Motion Magnification

1. 서 론

수면 중 돌연사는 급성 심근경색 등의 이유로 노인 뿐 만 아니라 영아나 20-40대와 같은 비교적 젊은 층에서도 종종 발생하고 있다[1][2]. 이러한 돌연사 위험을 미리 예측하고 방지하기 위해서는 수면 모니터링이 필요하다. 그런데 많은 수면 모니터링 시스템에서는 신체에 센서 부착을 필요로 한다. 예를 들어, 수면 다원검사(night polysomnography)에서는 수면 단계를 측정하는 뇌파전극을 머리에 부착하고, 호흡정도를 측정하기 위해 코, 가슴, 복부에 센서와 벨트를 두른다[3]. 그리고 눈 움직임,

팔다리 움직임, 턱 근육의 긴장도를 측정하는 전극을 부착하고, 가슴에 심전도 전극을 부착한다[3]. 이러한 센서 부착 기반 수면 모니터링 시스템은 정확한 수면 분석 결과를 얻는데 도움이 되지만 수면 때마다 센서를 부착하는 것은 매우 불편하고 비효율적이다.

이러한 불편함과 비효율성 문제를 극복하기 위해 비디오 분석에 기반한 수면 모니터링 방법들이 제안되었다[4-6]. [4]에서는 마이크로소프트 키넥트(MS Kinect) 카메라 센서를 이용하여 추출된 25개 중 19가지의 주요 관절(joint)의 위치 정보를 이용하였다. 관절의 위치 변화량에 따라 수면의 질(quality)을 분류하고, 관절의 구조

이 논문은 2018년도 한국기술교육대학교 교수 교육연구진흥과제 지원에 의하여 연구되었음

*Corresponding Author : Seung Ho Lee(KOREATECH)

Tel: +82-41-560-1116 email: leesh903@koreatech.ac.kr

Received July 2, 2018

Revised (1st July 23, 2018, 2nd August 7, 2018)

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

에 따라 수면 자세를 미리 정의한 다섯 가지 중 하나로 분류하였다. [5]에서는 depth 카메라가 머리 윗부분을 바라보게 설치하여 촬영한 가슴 영역과 복부 영역을 타원(ellipse) 모델의 형태로 각각 모델링 하고, 그 변화를 측정하여 호흡 저하 등의 수면 상태를 검출하였다. [6]에서는 열화상(thermal) 카메라를 이용하여 사람의 입 영역의 온도 변화로 호흡의 경향성을 측정하는 수면 모니터링 방법을 제안하였다.

앞서 언급된 기존 연구들은 인체의 지역적인(local) 영역(신체의 각 관절 부위[4], 가슴 영역과 복부 영역[5], 입 영역[6])을 모델링 하고 이 지역적인 모델의 변화를 감지하는 모니터링 방식을 사용한다는 공통점을 가진다. 하지만 이러한 방식은 제한된 수면 조건에서만 제대로 동작한다는 한계점을 가진다. 예를 들어, [4]나 [6]의 경우 사용자가 이불을 덮어 신체 일부(관절이나 입 영역)가 가려지면 모델링이 부정확하거나 불가능하다. 또한 [5]의 경우 카메라가 머리 윗부분을 바라보게 촬영하는 것을 가정하기 때문에 사용자가 수면 중 자세를 크게 바꾸는 경우 가슴과 복부 영역 모델링이 부정확하거나 불가능하다. 따라서 수면 중 발생할 수 있는 다양한 조건을 고려한 일반화된(generalized) 수면 모니터링 방법이 필요하다.

본 논문에서는 별도의 센서 부착 없이도 수면 중 돌연사 감지를 할 수 있는 새로운 비디오 분석 방법을 제안한다. 제안하는 비디오 분석 방법은 매우 미세한 움직임도 감지할 수 있도록 모션 증폭 기법을 비디오 시퀀스에 적용한다. 모션 증폭이 적용된 비디오 시퀀스에서 연속 프레임들 간 차이가 거의 없는 경우 모션이 존재하지 않아 돌연사 가능성이 있는 것으로 판단한다. 수면 중인 아기를 촬영한 두 종류의 비디오에 대해 실험한 결과, 모션 증폭이 호흡에 의한 미세 모션을 나타내는 수면 상태를 돌연사와 구분하는데 유용할 것으로 판단되었다.

수면 중 돌연사를 감지하는데 가장 큰 도전요소는 움직임이 매우 미세한 경우(수면 중 자세 변화가 없고 호흡에 의한 모션만 존재)와 전혀 없는 경우를 서로 분별하는 능력을 갖추는 것이다. 본 논문에서는 이 목적을 달성하기 위해 돌연사 감지에 특화된 모션 증폭 기반 알고리즘을 제시하였다. 제안 방법은 [4-6]에서 제안된 방법들보다 실용적인 활용을 위해, 신체의 특정 영역을 모델링하기 위한 영역 검출이나 추적 기술을 필요로 하지 않으며, 자세 변경이나 이불을 덮는 것에 특별한 제한을 두지 않는다. 제안 방법의 일반화 능력을 실험에서 부분적

으로 검증하였다. 예를 들어, 아기가 담요를 두른 채로 상반신만 노출되어 있는 수면 비디오에서도 호흡에 의한 미세 모션이 성공적으로 감지되는 것을 확인하였다.

본 논문의 나머지 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 비디오 모션 분석 방법을 돌연사 감지용 수면 모니터링에 활용하는 방안에 대해 먼저 설명한 뒤, 비디오 모션 분석 알고리즘을 단계 별로 자세히 설명한다. 3장에서는 아기의 수면 비디오를 이용하여 제안 방법의 유용성을 분석하고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 본 론

2.1 수면 중 돌연사 감지를 위한 비디오 모션 분석 활용 예시

Fig. 1은 제안하는 비디오 모션 분석 방법을 활용하는 수면 모니터링 시나리오 예시를 나타낸다. 수면 시작 감지(Sleep Detection) 단계에서는 침구류에 부착된 압력 센서를 이용하여 압력센서 수치가 사전에 설정된 문턱값 이상이 되면 사람이 취침을 시작하였음을 감지한다. 수면 시작이 감지되면 비디오 모션 분석(Video Motion Analysis) 단계가 자동으로 시작된다. 이 단계에서는 영상기반으로 수면 행동을 분석하여 수면 상태인지 돌연사의 위험이 있는 상태인지를 구분한다. 연속된 비디오 프레임 간에 일정 이상의 모션 양이 존재하면 돌연사의 위험이 있다고 판단하고 알람 발생 단계가 시작된다. 알람 발생 단계에서는 1차적으로 취침 중인 사람을 신속하게 깨우기 위한 알람을 집 안에 발생시키며, 알람에 대한 반응이 없는 경우(예 : 이미 돌연사가 발생한 경우), 신속한 후속 조치를 위해 집 밖의 관리자에 2차적으로 알람을 발송한다.

다음 2.2절에서는 제안하는 비디오 모션 분석 알고리즘에 대해 자세히 다룬다.

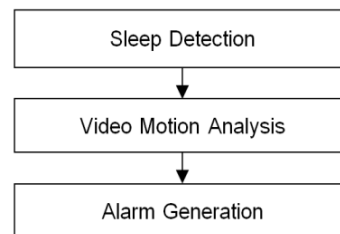


Fig. 1. An example scenario of sleep monitoring using the proposed video motion analysis.

2.2 비디오 모션 분석 알고리즘

제안하는 비디오 모션 분석 알고리즘은 총 N개의 프레임으로 구성된 비디오 시퀀스를 입력 받고 분석을 수행하여 모션 포함 여부를 출력한다. 그리고 앞서 분석된 비디오 시퀀스와 프레임이 중복되지 않는 다음 순서의 비디오 시퀀스에 대해 동일한 과정을 반복적으로 수행한다. 입력 받은 비디오 시퀀스에 대해 모션 포함 여부를 출력하기까지의 자세한 과정을 아래와 같이 설명한다.

- 1) 모션 증폭 : 수면 중에는 팔, 다리나 머리의 움직임이 거의 없고 호흡에 의한 미세한 움직임만 나타나는 경우가 많으며, 비디오 분석으로 수면 상태 여부를 가리기가 어렵다. 본 논문에서는 이 한계점을 극복하기 위해 Eulerian 모션 증폭(motion magnification) 기법[7]을 비디오 시퀀스에 적용한다(예 : Fig. 4). 모션 증폭을 적용함으로써 얻을 수 있는 효과는 다음과 같다. 만약 호흡에 의한 미세한 움직임이 있는 경우 모션 증폭을 적용하면 움직임이 강조되어 수면 상태임을 알 수 있다. 반면 호흡정지 등 돌연사의 위험이 있거나 돌연사가 이미 진행된 경우에는 모션 증폭을 적용하더라도 움직임이 검출되지 않으므로 긴급 상태임을 판단할 수 있다.
- 2) 옛지영상 획득 : 비디오에 모션 증폭을 적용하면 Fig. 2에서 보는 것처럼 영상 잡음이 발생할 수 있다. 이것은 비디오의 모션 추출 과정에 있어서 방해요소가 될 수 있다. 이 문제점을 극복하기 위해 모션 증폭에 의한 영상 잡음에 강인한 옛지영상(Edge image)을 획득한다. 본 논문에서는 소벨(Sobel) 기울기 연산자[8]를 이용하여 각 픽셀 위치에서의 x방향, y방향의 기울기를 계산하였다. 다음으로 x방향, y방향의 기울기를 이용하여 기울기의 크기(gradient magnitude) 성분을 옛지영상으로 정의한다.[8] Fig. 3(a)와 3(b)는 모션 증폭된 프레임에 대한 옛지영상의 예를 각각 보여준다.
- 3) 연속 프레임 간 차 영상 획득 : 수면에 의한 모션을 추출하기 위해 현재 프레임(i번째)과 이전 프레임(i-1번째) 간 차 영상(difference image)을 획득한다(Fig. 3(c)). 현재 프레임의 옛지영상과 이전 프레임의 옛지영상 간 픽셀값 차이를 구하고 음수를 제거하기 위해 픽셀값 차이에 절대치를 적용한다.

차 영상을 계산하기 전에 옛지영상의 픽셀값들이 최소 0과 최대 1사이의 값을 갖도록 범위를 조정한다.

- 4) 차 영상 이진화 : 차 영상 획득 후에 모션 영역을 정의하기 위해 차 영상에 이진화(binaziation)를 적용한다. 영상 이진화는 사전에 설정된 문턱값을 기준으로 그보다 낮은 값을 갖는 픽셀은 검정색(0), 높은 값을 갖는 픽셀은 흰색(1)으로 표현하는 기법이다. Fig. 3(d)는 이진화 용 문턱값을 0.1로 적용하였을 때의 이진화 결과를 나타낸다.
- 5) 모션 양 계산 및 모션 포함 여부 판단 : 마지막으로 차 영상 이진화 결과로부터 모션 양을 계산한다. 모션 양은 이진화 된 차 영상의 픽셀값의 합으로 정의한다. 예를 들어, 흰색(1)에 해당하는 픽셀이 100개이면 모션 양은 100이다. 입력된 비디오 시퀀스의 모든 연속 프레임 쌍들에 해당하는 모션 양값들에 평균을 취하여 입력된 비디오 시퀀스에 대한 평균 모션 양으로 정의한다. 평균 모션 양이 사전에 설정된 모션 감지용 문턱값보다 높으면 ‘수면 상태(=모션 포함)’, 모션 감지용 문턱값보다 낮으면 ‘돌연사 가능성이 있는 상태(=모션 미포함)’로 분류한다.

3. 실험결과

제안하는 비디오 분석 방법의 효용성을 분석하기 위해, 논문 [7]의 웹사이트[9]에서 제공한 아기의 수면 비디오 두 편(실험 비디오 1 : baby.mp4, 실험 비디오 2 : baby2.mp4)에 대해 실험을 수행하였다.

실험 비디오 1은 544(세로) x 960(가로) 픽셀의 프레임 사이즈를 가지며, 비디오는 290개의 프레임으로 구성된다(약 10초 분량). 프레임은 300 x 450 픽셀로 리사이징 하였다. 비디오에서 아기는 들숨(breathing in)과 날숨(breathing out)으로 구성된 호흡을 총 5회 한다. 아기는 팔, 다리나 머리의 움직임은 없으며 호흡에 의한 복부의 매우 미세한 움직임만 육안으로 확인할 수 있다. Fig. 4는 실험 비디오 1의 시퀀스 중 일부를 예로 나타낸 것이다. 실험 비디오에 모션 증폭을 적용하기 위해 [9]에서 제공하는 매트랩 코드를 이용하였고 모션 증폭 파라미터는 [7]에서 제시한 값으로 설정하였다.

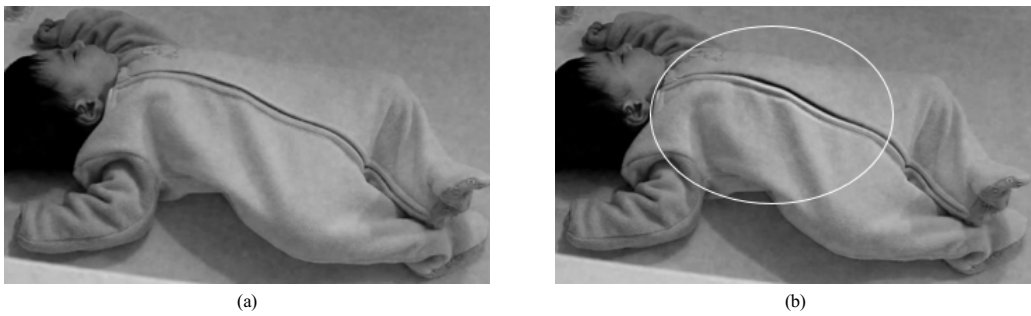


Fig. 2. A result of motion magnification applied to a video sequence.
(a) Breathing out. (b) Breathing in(Subtle motion is exaggerated as shown in the white circle).

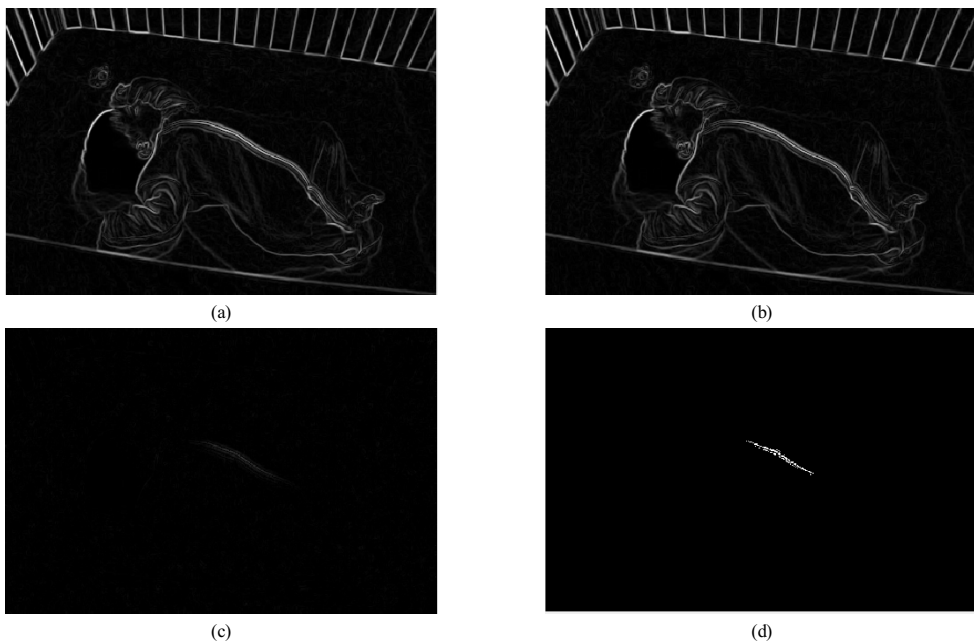


Fig. 3. (a) Edge image of the i th frame. (b) Edge image of the $i-1$ th frame.
(c) Difference image between the i th and $i-1$ th frames. (d) Binarization result of the difference image in (c).

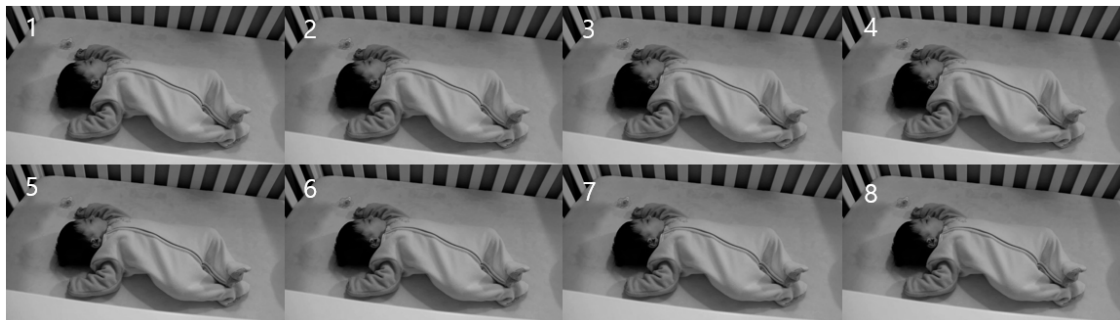


Fig. 4. An example of video sequence with a sleeping baby(video 1). The frame number is indicated on each frame.



Fig. 5. An example of video sequence with a sleeping baby(video 2). The frame number is indicated on each frame.

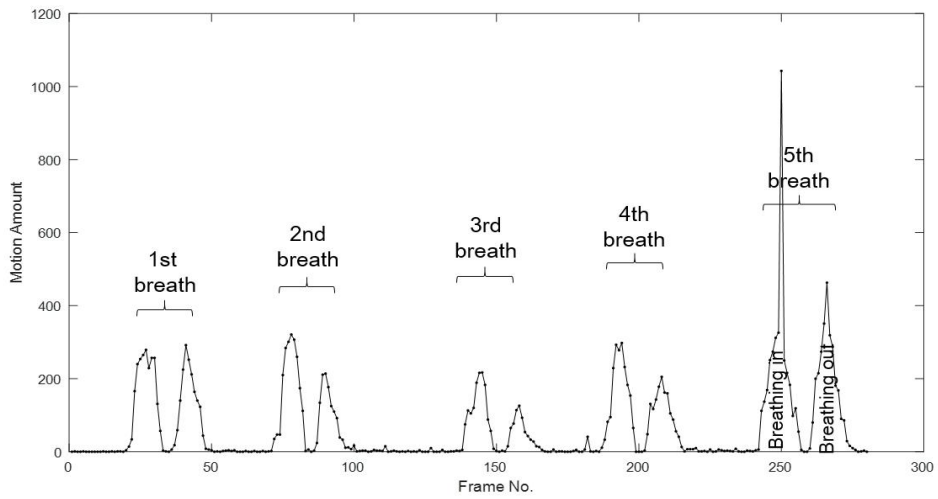


Fig. 6. Motion amount varying with frame number(For video 1).

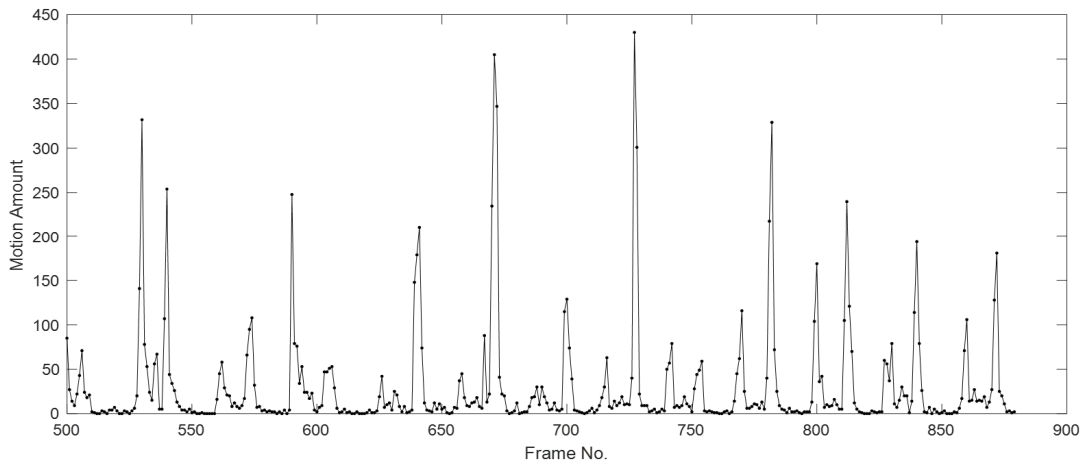


Fig. 7. Motion amount varying with frame number(For video 2). For clear visualization, the frames after Frame No. 500 were only presented in this graph.

Table 1. Average motion amount values obtained for video 1, with different threshold values for image binarization.

Threshold for image binarization	without motion magnification	with motion magnification
0.05	4.31	164.74
0.06	1.55	101.17
0.07	0.52	67.78
0.08	0.15	48.64
0.09	0.06	35.38
0.1	0.03	25.99
0.2	0.00	0.93
0.3	0.00	0.00

Table 2. Average motion amount values obtained for video 2, with different threshold values for image binarization.

Threshold for image binarization	without motion magnification	with motion magnification
0.05	7.10	163.92
0.06	1.96	61.06
0.07	0.59	25.52
0.08	0.20	11.51
0.09	0.06	3.94
0.10	0.02	3.98
0.2	0.00	0.00
0.3	0.00	0.00

실험 비디오 2는 352(세로) x 640(가로) 픽셀의 프레임 사이즈를 가지며, 비디오는 889개의 프레임으로 구성된다(약 30초 분량). 프레임은 300 x 450 픽셀로 리사이징 하였다. 이 비디오에서는 실험 비디오 1과 마찬가지로 팔이나 머리의 움직임이 없으며 호흡에 의한 미세한 움직임만 육안으로 확인할 수 있다. 하지만 실험 비디오 1과 다르게, 아기의 상반신만 보이며 담요로 몸을 두르고 있다. Fig. 5는 실험 비디오 2의 시퀀스 중 일부를 예로 나타낸 것이다. 모션 증폭 파라미터는 실험 비디오 1과 동일한 설정값을 적용하였다.

실험 비디오 1에 대한 실험결과는 다음과 같다. 비디오에 모션 증폭을 적용하지 않은 경우, 평균 모션 양은 0.52였다. 반면 비디오에 모션 증폭을 적용한 경우, 평균 모션 양은 67.78로 눈에 띄게 증가하였다. 모션 증폭이 수면 중 호흡에 의한 모션을 강조하는데 적절하게 사용됐는지 확인하기 위해 프레임 번호에 따른 모션 양 변화를 분석하였다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이, 5회의 호흡에

해당하는 주기적인 모션 양 변화가 관찰되었다. 또한 Fig. 3(d)에서 볼 수 있듯이 아기의 복부 부분의 모션은 강조되어 육안으로 쉽게 확인할 수 있고(흰색 영역), 복부 이외의 영역에서는 모션이 관찰되지 않았다(검정색 영역). Fig. 3(d)와 Fig. 6을 통하여 모션 증폭에 의해 호흡에 해당하는 복부의 모션이 성공적으로 추출된 것을 확인할 수 있다.

실험 비디오 2에 대한 실험결과는 다음과 같다. 비디오에 모션 증폭을 적용하지 않은 경우, 평균 모션 양은 0.59였다. 반면 비디오에 모션 증폭을 적용한 경우, 평균 모션 양은 25.52로 증가하였다. Fig. 7은 실험 비디오 2에 대해, 프레임 번호에 따른 모션 양 변화를 나타낸다. 호흡의 세기는 다소 변화가 있지만 비교적 일정한 주기로 호흡에 의한 모션의 신호가 관찰되었다. 아기의 복부와 상체가 담요로 가려져 있음에도 불구하고, 모션 증폭에 의해 전체적인 호흡 모션이 성공적으로 추출된 것으로 예측할 수 있다.

Table 1과 2는 모션 증폭 여부(적용/미적용)와 이진화 용 문턱값에 따라 달라지는 평균 모션 양을 실험 비디오 1과 2에 대해 각각 나타낸다. 이진화 용 문턱값이 낮아질수록 평균 모션 양이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 Fig. 3(d)에서 흰색으로 표현되는 활성 영역이 넓어졌기 때문이다. 이진화 용 문턱값을 너무 낮추면, 영상 잡음에 의한 차이도 마치 움직임이 있는 것처럼 오인하여 ‘모션 포함’으로 부정확하게 판단할 수 있다. 반면에 이진화 용 문턱값을 너무 높이면(예 : 0.2나 0.3), 호흡에 의한 미세 움직임을 움직임이 없는 것으로 오인하여 ‘모션 미포함’으로 부정확하게 판단할 수 있다. Table 1과 2의 결과에 의하면, 이진화 용 문턱값은 0.06~0.10의 범위 내에서 결정되는 것이 적절해 보인다. 본 논문에서는 실험 비디오 1과 2에 이진화 용 문턱값을 0.07로 동일하게 설정하였다.

i7-8700K CPU, 48GB 램 PC에서 매트랩(Matlab)으로 계산시간을 측정한 결과, 실험에 사용된 10초 분량의 비디오 시퀀스에 대해, 모션 증폭에 평균 10.2초, 나머지 과정(엡지영상 획득, 연속 프레임 간 차 영상 획득, 차 영상 이진화, 모션 양 계산)에 평균 1.2초가 소요되었다. 10초 분량의 비디오 시퀀스들에 대해 실시간 모니터링을 수행할 수 있으려면 이론적으로 1.4초 이상 계산시간을 단축시켜야 한다. 계산 시간의 많은 부분을 차지하는 모션 증폭은 C++ 환경에서는 초당 약 45 프레임을 처리

할 수 있어 실시간 처리가 가능하며, GPU 연산을 사용하는 경우 추가적인 시간 단축을 달성할 수 있을 것으로 분석되었다[7]. 이에 비춰 볼 때, 수행 프로그램의 언어나 환경의 최적화를 통해 제안하는 비디오 분석 방법을 실시간 모니터링에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문에서는 수면 중 돌연사 감지를 위한 비디오 분석 방법을 제안하였다. 미세한 움직임을 보이는 수면 상태를 돌연사로부터 구별하기 위해 모션 증폭 기법을 비디오 시퀀스에 적용하였다. 모션 증폭을 적용한 뒤에도 연속 프레임 간의 차이가 매우 적은 경우 돌연사의 가능성이 있는 것으로 간주한다. 제안 방법은 신체에 센서 부착을 필요로 하지 않으므로 아기를 키우는 가정이나 독신 가정에서 편리하게 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문에서는 물체를 육안으로 쉽게 인식할 수 정도의 조도에서 촬영된 비디오에 대해 실험을 수행하였다. 만약 비디오 분석 환경이 조명이 없는 실내 야간과 같이 조도가 매우 낮은 조건을 가진다면 적외선 카메라로 취득한 영상에 제안 방법을 적용하는 것이 고려될 수 있다. 향후에는 조도가 매우 낮은 조건에서 수면 중 돌연사 감지를 위한 적외선 비디오 분석 방법에 대해 연구할 것이다. 특히 미세 모션 검출을 위해 적외선 영상에 적합한 전처리 방법이 고려되어야 할 것이다.

References

- [1] N. H. Kim, K. H. Yun, S. K. Oh, "Sudden Cardiac Death," *Journal of the Korean Medical Association*, Vol.53, No.3, pp.214-227, March, 2010.
DOI: <https://dx.doi.org/10.5124/jkma.2010.53.3.214>
- [2] 조선닷컴(Chosun.com), "현역병 1만명당 49명꼴 수면중 돌연사 위험", 2009, [cited 2018 July 20], Available from: http://news.chosun.com/site/data/html_dir/2009/04/06/2009040601660.html
- [3] CHA Bundang Medical Center, "Night Polysomnography," [cited 2018 July 20], Available from: <https://bundang.chamc.co.kr/MedicalInfo/ClinicPart.aspx?mcd=3031&mcode=3028&menuCode=351&no=3&pcd=NM>
- [4] J. Lee, M. Hong, S. Ryu, "Sleep Monitoring System Using Kinect Sensor", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol.11, No.10, pp.1-9, October, 2015.

DOI: <https://dx.doi.org/10.1155/2015/875371>

- [5] C. Yang, G. Cheung, K. Chan, V. Stankovic, "Sleep Monitoring Via Depth Video Compression and Analysis", *Proceedings of the 2014 IEEE International Conference on Multimedia and Expo Workshops*, July, 2014.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/ICMEW.2014.6890645>
- [6] A. Procházka, H. Charvátová, O. Vyšata, J. Kopal, J. Chambers, "Breathing Analysis Using Thermal and Depth Imaging Camera Video Records", *Sensors*, Vol.17, No.6, Article ID 1408, Jun, 2017.
DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/s17061408>
- [7] H. Wu, M. Rubinstein, E. Shih, J. Guttag, F. Durand, W. T. Freeman, "Eulerian Video Magnification for Revealing Subtle Change in the World", *ACM Transactions on Graphics*, Vol.31, No.4, July, 2012.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1145/2185520.2185561>
- [8] Mathworks, "Imgradient function in Image Processing Toolbox", [cited 2018 July 20], Available from: <https://kr.mathworks.com/help/images/ref/imgradient.html>
- [9] H. Wu, "Eulerian Video Magnification for Revealing Subtle Changes in the World", MIT Computer Science & Artificial Intelligence Lab, 2014. [cited 2018 July 20], Available from: <http://people.csail.mit.edu/mrub/evm/#code>

이 승 호(Seung Ho Lee)

[정회원]



- 2011년 2월 : KAIST 전기및전자공학부 (공학석사)
- 2015년 8월 : KAIST 전기및전자공학부 (공학박사)
- 2015년 9월 ~ 2018년 2월 : 국방과학연구소(ADD) 선임연구원
- 2018년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 융합학과 교수

<관심분야>

컴퓨터 비전, 머신러닝, 패턴인식