

소형 웨어러블 카메라의 효율적인 동작을 위한 실시간 해상도 조절 시스템의 설계 및 구현

김범준*, 서주희*, 백윤주^o

Design and Implementation of Real-Time Resolution Control System for Efficient Operation of Small Wearable Camera

Beomjun Kim*, Juhee Seo*, Yunju Baek^o

요 약

첨단기술의 발전으로 첨단 기기가 소형화되어 직접 착용할 수 있도록 하는 웨어러블 장치가 지속적으로 개발되고 있다. 웨어러블 장치 중 착용자 본인이나 주변을 촬영할 수 있는 웨어러블 카메라는 개인의 일상이나 야외활동을 기록하기 위한 목적으로 활용된다. 웨어러블 카메라는 사용자가 직접 착용하고 움직이기 때문에 촬영 결과물이 흔들려서 제대로 활용하기 어려운 경우가 많다. 본 논문에서는 소형 웨어러블 카메라의 흔들린 사진의 비율을 줄여 효율적으로 동작할 수 있는 실시간 해상도 조절 시스템을 제안하였다. 해당 시스템은 필요에 따라 실시간으로 안드로이드 어플리케이션과 연동되어 주변 환경에 적응적으로 해상도 조절 여부를 판단함으로써 개인의 일상 기록을 효율적으로 수행할 수 있도록 한다. 시스템의 구현을 위하여 소형 웨어러블 카메라와 안드로이드 어플리케이션을 개발하였고 웨어러블 카메라를 직접 착용하고 수집한 데이터를 활용한 실험을 통해 성능을 검증하였다. 제안하는 시스템은 주변 환경을 고려하지 않고 고정적인 임계값으로 해상도를 조절하는 경우에 비해 정확도가 6%, 재현율이 17.8% 더 뛰어난 것을 확인하였다.

Key Words : Wearable Camera, Life Logging, Embedded System, Image Processing, Android

ABSTRACT

With the development of technology, electronic devices have been miniaturized and users can wear devices. Among wearable devices, wearable cameras can be used for recording personal daily activities. This type of camera is directly affected by the user's movements, so the captured picture often shakes. In most cases, this device is used to periodically record the user's daily life, so there is a need to reduce the percentage of shaky photos. In this paper, we propose a real-time resolution control system that enables a small wearable camera to operate efficiently. The proposed system works with the Android application to determine the threshold value adaptively. We developed a small wearable camera and an Android application for the system implementation. The proposed system showed 6% higher accuracy and 17.8% better recall than the case of adjusting the resolution with a fixed threshold without considering the surrounding environment.

※ 이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음

• First Author : (ORCID:0000-0002-2945-1054)Pusan National University Dept. of Electrical and Computer Engineering, beomjun.kim@eslab.re.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-3873-2624)Pusan National University Dept. of Electrical and Computer Engineering, yunju@pusan.ac.kr, 중신회원

* (ORCID:0000-0002-5990-7390)Pusan National University Dept. of Electrical and Computer Engineering, juhee.seo@eslab.re.kr, 학생회원

논문번호 : 201810-309-B-RE, Received September 27, 2018; Revised November 16, 2018; Accepted November 20, 2018

I. 서 론

정보통신 기술과 반도체 기술이 발전함에 따라 다양한 기능을 수행하는 하드웨어가 소형화되고, 실시간으로 네트워크에 접속하여 데이터를 공유하는 사물인터넷 시대에 접어들고 있다. 하드웨어가 소형화됨에 따라 사용자의 몸에 직접 부착하는 웨어러블 장치에 대한 연구와 개발이 이루어졌고, 다양한 형태의 제품들이 시장에서 활발히 거래되고 있다. 이러한 웨어러블 장치 중에서 사용자의 일상을 직접적으로 기록할 수 있는 웨어러블 카메라에 대한 연구¹⁻⁶⁾ 또한 다양하게 이루어지고 있다. 웨어러블 카메라는 사용자가 직접 몸에 부착하여 자신이나 주변 환경을 촬영하면서 일상적인 삶, 특별한 날의 행사 또는 실내외에서 스포츠 등을 쉽게 기록하는 기능을 수행한다.

현재 상용화된 대표적인 고성능 웨어러블 카메라의 예로는 Sony사의 FDR⁷⁾이나 GoPro사의 HERO⁸⁾와 같은 액션캠 시리즈가 있으며, 개인의 일상을 기록하기 위한 소형 웨어러블 카메라는 Narrative사의 Narrative Clip 2⁹⁾와 iON사의 SnapCam¹⁰⁾이 있다. 고성능 웨어러블 카메라는 주로 야외활동이나 스포츠를 즐기면서 사용자의 시점에서 동영상을 촬영하는 것에 비하여, Narrative Clip 2나 Snapcam과 같은 장치들은 카메라를 통해 개인의 일상적인 삶을 주기적으로 관찰하여 정리할 수 있도록 서비스를 제공한다. 이러한 형태의 소형 웨어러블 카메라는 목걸이의 형태로 목에 걸거나 클립을 통해 착용하며, 스마트폰 어플리케이션과 연동되어 동작하게 된다. 사용자가 설정한 주기마다 촬영한 사진은 USB를 통해 연결된 컴퓨터나 무선으로 연결된 스마트폰에 전송할 수 있다. 이를 통해, 소형 웨어러블 카메라들은 개인의 일상을 소셜 네트워크 서비스를 통해 쉽게 공유할 수 있도록 한다. 하지만, 사용자의 몸에 부착되는 장치의 특성으로 인하여 사진이 쉽게 흔들릴 수 있다. 지속적인 동영상 촬영이 아니라, 주기적인 사진 촬영을 수행하게 될 경우에 흔들린 사진이 자주 촬영된다면 정상적으로 일상을 기록할 수 없다. 때문에 웨어러블 카메라가 흔들린 사진을 촬영하지 않도록 하는 것은 사용자 경험 측면에서 중요한 성능 지표가 된다.

특정 상용제품에는 흔들린 사진의 촬영을 막기 위한 기본적인 기능이 내장되어 있다. 예를 들어, Narrative Clip 2는 가속도 센서의 값을 지속적으로 관찰하여 흔들리는 동안은 사진을 촬영하지 않는다. 하지만, 장치가 정해진 임계값을 넘는 움직임은 감지하게 될 경우 사진 촬영을 보류하는 방식은 지속적인

움직임이 있는 경우에 사진 촬영이 여러 번 미뤄지게 되는 문제가 존재한다. 이는 장치의 기본적인 목표인 주기적인 촬영의 역할을 제대로 수행하기 어렵게 만든다. 또한 가속도 센서의 상태와 고정적인 임계값을 비교하여 촬영 여부를 결정하는 것은 장치의 동작 효율을 저하시킬 수 있다. 웨어러블 카메라가 촬영한 사진이 흔들리는 요인은 다양하기 때문에 상황에 맞게 대처할 필요성이 있다. 예를 들어, 웨어러블 카메라가 촬영하는 환경이 실내인지 실외인지에 따라서 동일한 움직임에도 사진의 흔들림이 다르게 나타난다. 또한 웨어러블 카메라의 착용 위치에 따라서 흔들림의 방향과 패턴이 다양해질 수 있다. 이 때문에, 단순히 가속도 센서의 상태만을 고려하는 것이 아니라 지속적으로 변화하는 주변 환경에 적응할 수 있는 기법을 설계할 필요가 있다.

이에 본 논문에서는 웨어러블 카메라가 주기적 동작 모드에서 흔들리는 사진을 촬영하는 경우를 줄여 장치가 효율적으로 동작하도록 하는 시스템에 대해 연구하였다. 이를 위해 스마트폰으로부터 실시간으로 피드백을 받아 웨어러블 카메라가 환경에 적응할 수 있도록 하는 실시간 해상도 조절 기법을 고안하였다. 해당 기법은 웨어러블 카메라가 주변 환경에 적응하면서 촬영 해상도를 설정하기 위하여 촬영된 사진의 흔들림을 웨어러블 카메라보다 뛰어난 연산 성능을 가진 안드로이드 기반의 스마트폰이 계산하게 한다. 이를 통해 연산능력에 한계가 있는 소형 웨어러블 카메라가 실시간으로 주변 환경에 적응할 수 있도록 하는 시스템을 설계하고 구현하였다. 시스템은 크게 소형 웨어러블 카메라 장치의 펌웨어와 안드로이드 어플리케이션으로 나누어 구현하였으며, 장치를 직접 장착하고 수집한 데이터를 기반으로 실험을 수행하여 제안하는 시스템의 성능을 확인하였다.

II. 관련 연구

2.1 웨어러블 카메라

웨어러블 카메라는 사용자가 직접 착용하고 일상이나 당시 상황을 효과적으로 기록할 수 있는 수단으로 활용될 수 있는 장치를 말한다. 초기의 웨어러블 카메라는 지금과 같이 소형화되어 쉽게 부착할 수 없었다. 1990년대의 초기 웨어러블 카메라¹¹⁾는 가방에 담긴 웨어러블 컴퓨터에 디지털 카메라를 부착하는 형태로 설계되었다. 이후 2000년대에 접어들면서 목걸이 형태의 웨어러블 카메라¹²⁾가 등장하게 되면서 개인의 일상을 사진의 나열로 기록하는 형태의 서비스에 대

한 관심이 높아지게 되었다. 이후 다양한 웨어러블 카메라들이 등장하였으며, 사진이 아니라 비디오로 일상을 기록할 수 있는 고성능 웨어러블 카메라가 등장하면서 GoPro사의 HERO^[8] 시리즈가 대표적인 상용제품으로 널리 알려져 있다. 또한 고해상도를 지원하고 다양한 기능을 포함하지만 동작 시간이 길지 않은 고성능 웨어러블 장치들과는 다르게 장시간 동작이 가능한 소형 웨어러블 카메라를 항상 착용하고 사용할 수 있도록 하는 용도로 활용할 수 있는 Narrative사의 Narrative Clip 2^[9]와 같은 라이프 로깅용 웨어러블 카메라 역시 개발되었다. 이러한 웨어러블 카메라가 가지는 공통적인 특징은 사용자가 직접 착용하고 사용한다는 특성으로 인하여 사진이나 영상과 같은 촬영 결과물이 쉽게 흔들린다는 점이다.

2.2 흔들림 방지 기술

카메라의 흔들린 사진은 셔터가 열려있는 동안 카메라가 많이 이동하게 될 경우 촬영되게 된다. 장치의 움직임으로 인한 흔들림을 방지하거나 보정하는 기술은 오랜 기간 동안 연구되어왔다. 크게 광학적인 방식인 Optical Image Stabilization (OIS)와 디지털 방식의 Electronic Image Stabilization (EIS)로 나눌 수 있다. OIS는 주로 장치가 흔들림에 따라 렌즈나 센서를 적절하게 움직이는 방식^[13]으로 동작하며, 피사체에서 반사되어 들어오는 빛의 경로가 바뀜으로 인해 움직임을 보정하게 된다. EIS는 동영상의 여러 프레임간의 유사성을 유지하는 방식^[14-15]으로 비디오의 흔들림을 줄이기 위해 흔히 사용된다. 대표적인 고성능 웨어러블 카메라 중 하나인 Sony의 FDR^[7] 시리즈의 경우, 광학식으로 손떨림을 보정하는 기술인 Balanced Optical SteadyShot (B.O.SS)를 적용하고 있다. 하지만 OIS의 경우는 움직임을 보정하기 위하여 렌즈나 센서를 움직여야하기 때문에 부품의 가격이 높아지는 단점이 있고, EIS는 여러 프레임을 활용하여 흔들리는 사진을 보정하는 방식이기 때문에 주로 동영상 촬영에 활용되며, 흔들린 프레임의 비중이 높아지면 보정 성능이 떨어지는 단점이 존재한다.

다른 방법으로는 흔들리는 이미지를 촬영하지 않도록 유도하여 보정할 필요가 없도록 하는 기술이 있다. 사진을 촬영하기 위하여 카메라의 셔터를 누르거나 스마트폰을 터치하게 될 경우 장치가 흔들리는 경우가 많다. 이로 인해 생기는 흔들림은 일시적이기 때문에 흔들림이 멈춘 후에 촬영하면 효과적으로 흔들림을 방지할 수 있다. 이와 마찬가지로 Narrative사의 Narrative Clip 2^[9]는 흔들리는 중에는 사진을 촬영하

지 않는다. 하지만 기본적으로 30초에 한 번씩 촬영하도록 되어있는 주기적인 촬영 모드에서는 촬영 자체를 미루는 것은 일상을 감시하는 장치의 기본적인 동작 목표와 맞지 않기 때문에, 사용자가 지속적으로 움직이고 있을 경우에 적절한 결과물을 얻을 수 없다.

또한, 카메라의 촬영을 미루지 않고 이미지 센서의 최대 화질보다 작은 해상도로 촬영하게 될 경우 카메라의 흔들림이 크게 보정되는 효과가 나타난다. 이는 해상도가 낮아지면서 흔들림의 영향이 함께 낮아지기도 하고, 이미지 센서의 이미지 촬영 및 전송 시간이 줄어들면서 움직임에 대한 영향이 크게 줄어들기 때문이다. 이를 이용하여 기존 연구^[16]에서는 OIS가 적용되지 않은 저가형 이미지 센서가 사진을 촬영할 때, 해상도를 조절하게 될 경우 흔들림이 줄어든다는 활용하여 저전력 기능을 구현한 바 있다.

III. 본 론

3.1 시스템의 필요성

웨어러블 카메라는 사용자가 직접 착용하여 촬영한다는 특징으로 인해 사진의 흔들림이 발생하기 쉽다. 이를 방지하기 위해서 고성능의 웨어러블 카메라는 하드웨어적 설계와 소프트웨어적인 영상 처리를 통해 흔들림을 보정한다. 하지만, 고성능의 웨어러블 카메라에 비해 연산 능력이 떨어지는 소형 웨어러블 장치는 가격이 비싼 하드웨어적인 설계나 많은 연산을 필요로 하는 소프트웨어적인 처리를 적용시키기 어려운 문제가 있다. 사용자의 일상을 기록하기 위하여 주기적으로 사진을 촬영하는 것이 주된 목적이므로 흔들림 문제를 해결하지 않으면 웨어러블 카메라의 효율성이 하락하게 된다. 제안하는 시스템에서는 상용제품과 같이 촬영을 지연시키는 방법이 아니라 해상도를 조절하는 방법을 활용하였다. 그림 1과 같이 같은 환경에서 촬영하더라도 해상도를 낮게 촬영할 경우 흔들림이 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이처럼 해상도를 낮춰 흔들림을 줄이는 방법을 활용할 경우, 사용자가 설정한 주기에 맞춰 정확한 타이밍에 사진



그림 1. 같은 환경이지만 해상도에 따라 달라지는 결과
Fig. 1. Pictures taken with different resolutions

을 촬영할 수 있다.

하지만, 단순히 일정 크기 이상의 흔들림을 감지할 경우 해상도를 낮추는 방법은 효율적으로 동작하기 어렵다. 웨어러블 카메라가 촬영한 사진이 흔들리는 것을 장치가 직접적으로 인식하기 어려운 문제가 있기 때문이다. 예를 들어, 사용자가 실외에서 이동하고 있을 경우에는 실내에서 이동하는 경우보다 흔들림이 적게 발생한다. 또한 낮과 밤과 같은 빛의 변화나 이동 패턴, 장치의 착용 위치 등 흔들림에 직접적인 영향을 끼칠 수 있는 요소가 다양하기 때문에 단순한 방법으로 이를 결정하는 것은 어려운 일이다. 웨어러블 카메라를 이용하여 이미지를 촬영하면서 내장된 센서를 통해 가속도의 크기를 측정 한 실험의 결과가 그림 2와 같이 나타난다. 흔들림의 정도가 비슷한 상황이지만 실내에서 촬영된 사진들이 더 쉽게 흔들리는 것을 알 수 있다. 같은 크기의 움직임이 발생하더라도, 실내에 비해서 실외의 물체는 흔들림의 영향을 덜 받게 되는 것이다. 이는 이미지 센서가 가로나 세로로 흔들리는 것에 대한 영향이 거리가 멀어질수록 줄어들기 때문이다. 가로로 나열되어 있는 두 눈으로 물체를 바라보게 될 경우, 두 눈으로 각각 관찰한 대상의 차이는 가까이 있는 물체에 대해서는 크고, 멀리 있는 물체에 대해서는 작게 관찰된다. 웨어러블 카메라의 특성상 주로 상하로 흔들리는 움직임이 빈번하게 나타나기 때문에, 그림 2와 같이 야외에서 촬영하게 될 경우에는 피사체가 멀어질 경우가 많아 흔들림에 대한 민감도가 낮아진 결과가 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 사진의 흔들림은 주변 환경에 크게 영향을 받기 때문에, 웨어러블 카메라의 효율을 높이기 위해서는 이와 같은 특성을 고려하여 흔들린 사진의 촬영 비율을 줄일 수 있는 시스템이 필요하다.

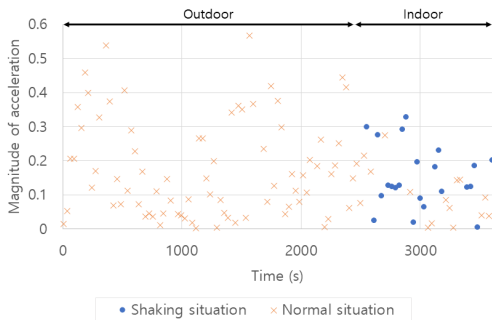


그림 2. 환경에 따라 달라지는 이미지의 흔들림
Fig. 2. Shaking can vary depending on the environment

3.2 시스템의 설계

본 논문에서는 소형 웨어러블 카메라가 환경에 적응하기 위하여 외부로부터 촬영한 사진에 대한 피드백을 받아 흔들린 사진의 비율을 줄이는 시스템을 설계하였다. 제안하는 시스템은 크게 직접 사진을 촬영하고 이미지를 저장하는 웨어러블 카메라와 효율적인 촬영을 돕기 위한 스마트폰 어플리케이션으로 나눌 수 있다. 웨어러블 카메라의 구성은 그림 3의 왼쪽과 같이 나타난다. 장치에 내장되어 있는 Bluetooth Low Energy (BLE) SoC는 가속도 센서로부터 데이터를 수집하거나 RTC로부터 주기적 이벤트를 수신하여 필요할 때만 이미지 프로세서의 동작을 제어함으로써 장치가 저전력으로 동작할 수 있도록 한다. 또한, 안드로이드 어플리케이션으로 사진을 전송하여 사용자가 사진을 활용하기 용이하게 하거나 실시간으로 사진에 대한 피드백을 수신할 수 있다. 이미지 프로세서는 사용자의 일상 기록을 위하여 BLE SoC가 요청하는 순간에 이미지 센서와 통신하여 촬영 이미지를 얻어 외부 저장장치에 저장하는 역할을 담당한다. 스마트폰 어플리케이션은 그림 3의 오른쪽과 같이 나타난다. 이 어플리케이션은 안드로이드 환경에서 BLE를 통해 웨어러블 카메라로부터 사진을 수신하여 저장 및 관리를 수행하며, 웨어러블 카메라의 촬영 주기나 동작 모드를 설정할 수 있다. 또한 OpenCV 기반의 기존 연구^[7]를 활용한 영상 처리를 통하여 사진의 흔들림을 판별함으로써 장치에게 피드백을 제공하는 기능을 갖추고 있다.

제안하는 시스템이 동작하는 과정을 다음과 같다. 사용자가 자신의 일상을 기록하기 위하여 스마트폰 어플리케이션으로 웨어러블 카메라의 촬영 옵션을 선택하면, 웨어러블 카메라가 이를 BLE로 수신하여 자신의 플래시 메모리에 저장한다. 주기적 촬영 동작을 수행하게 된 웨어러블 카메라는 RTC에 알람을 설정

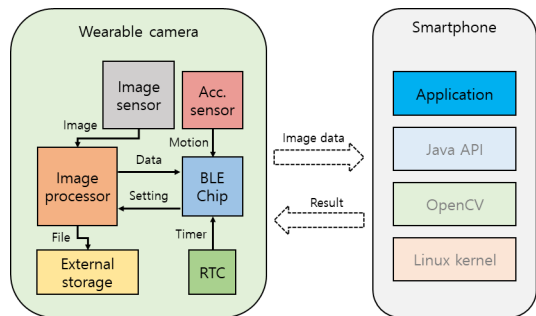


그림 3. 제안하는 시스템의 구조
Fig. 3. Structure of the proposed system

하고 저전력 모드로 동작하게 된다. 정해진 주기가 되어 깨어난 장치는 사진을 촬영하기 직전에 흔들림 정도를 가속도 센서를 통해 확인하여 해상도를 결정한다. 이후, 실시간으로 사진을 촬영하여 외장장치에 저장하게 되는데, 스마트폰과 페어링이 되어있을 경우 어플리케이션으로도 사진을 전송한다. 사진을 수신한 스마트폰 어플리케이션은 영상처리를 통하여 사진의 흔들림 정도를 추정하여 이를 웨어러블 카메라에 알려준다. 웨어러블 카메라는 사진의 흔들림 정도를 피드백으로 받아들이며 다음 사진의 해상도를 결정할 때 활용하게 된다.

3.3 실시간 해상도 조절 기법

제안하는 실시간 해상도 조절 기법은 안드로이드 스마트폰에서 판단하는 흔들림 정도를 피드백으로 활용한다. 안드로이드 어플리케이션은 그림 4와 같이 촬영한 사진을 흑백 이미지로 변환한 뒤에 외곽선을 추출하기 위해 Laplacian 함수를 적용시킨다. 흔들린 사진의 외곽선이 흐릿해지는 특성을 반영하여 흔들림 정도를 추정할 수 있다. 흔들림 정도를 계산하기 위해 적용한 Laplacian 함수는 이미지 내의 모든 픽셀에 대하여 주변 픽셀과의 차이 값을 고려하게 된다. 추출된 외곽선 이미지를 기반으로 흔들림 레벨을 계산하게 되는데, 이 때 관찰되는 외곽선의 비율과 판단 기준 값에 따라 흔들림을 결정지을 수 있다. 이처럼 윤곽선을 파악하는 함수의 결과물이 움직이는 물체에 대한 윤곽선을 나타내게 되는 경우도 존재한다. 하지만, 흔들리는 방향으로 생겨난 윤곽선들이 흔들리지 않았을 경우에 관찰되는 물체의 윤곽선보다 적게 관찰된다. 이러한 장점 때문에 윤곽선을 기반으로 흔들림을 추정하는 경우가 많다.

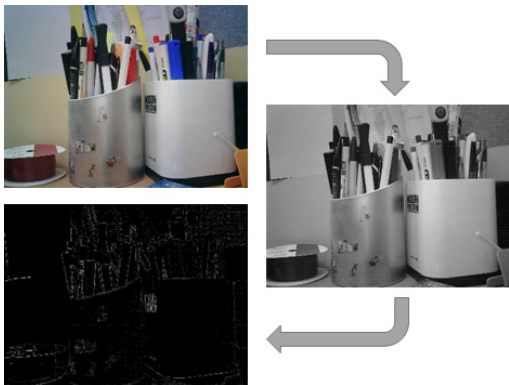


그림 4. 이미지의 윤곽선을 통해 흔들림을 계산하는 방법
Fig. 4. Calculate image shake by extracting edge lines

```

Algorithm Determine the threshold for changing resolution
1 : precondition MAX_THRESHOLD, MIN_THRESHOLD, WEIGHT
2 : precondition PLUS_ADDITION, MINUS_ADDITION, ANDROID_THRESHOLD
3 :
4 : procedure DetermineThreshold(float accelMagnitude, float shakeLevel)
5 :   if (shakeLevel > ANDROID_THRESHOLD and accelMagnitude < currentThreshold)
6 :     if (beforeAddition < 0)
7 :       currentAddition = beforeAddition * WEIGHT
8 :     else
9 :       currentAddition = MINUS_ADDITION
10 :   else if (shakeLevel < ANDROID_THRESHOLD and accelMagnitude > currentThreshold)
11 :     if (beforeAddition > 0)
12 :       currentAddition = beforeAddition * WEIGHT
13 :     else
14 :       currentAddition = PLUS_ADDITION
15 :   currentThreshold = currentThreshold + currentAddition
16 :   currentThreshold = max(min(currentThreshold, MAX_THRESHOLD), MIN_THRESHOLD)
17 :   beforeAddition = currentAddition
18 : end procedure
    
```

그림 5. 추정 결과를 활용한 임계값 조절 기법의 의사 코드
Fig. 5. Pseudo code of threshold control technique

안드로이드 어플리케이션이 계산한 흔들림 정도를 피드백으로 받아들이며 실시간으로 해상도를 조절하는 기법은 그림 5의 알고리즘과 같이 동작한다. 안드로이드 어플리케이션이 흔들린 사진이라고 판단했으나 현재 가속도 크기가 임계값보다 낮게 나타날 경우와 안드로이드 어플리케이션이 흔들리지 않은 사진이라고 판단했으나 현재 가속도 크기가 임계값보다 높게 나타날 경우에 임계값을 실시간으로 조정할 필요성이 있다. 단순히 고정적인 값을 더하거나 빼는 것이 아니라, 환경에 빠르게 적응하기 위해 한 방향으로 지속적인 보정이 일어날 경우에는 weight를 곱하여 점점 더 큰 폭으로 변화하게 된다. 해상도 변경을 판단하는 임계값은 정해진 구간 내에서만 변화할 수 있으며, 사진 촬영 결과물의 흔들림을 기반으로 환경에 적응하게 된다.

3.4 시스템의 구현

제안하는 시스템은 BLE 통신을 위한 SoC 기반의 웨어러블 카메라와 안드로이드 어플리케이션으로 각각 구현하였다. 웨어러블 카메라는 저전력 동작을 고려하여 BLE SoC가 이미지 프로세서의 전원을 제어하도록 하드웨어를 구현하였으며, 피드백을 활용하여 실시간으로 해상도 변경을 위한 임계값을 반영하도록 하는 펌웨어를 작성하였다. 구현한 하드웨어 결과물은 그림 6과 같이 나타나며, 추가적으로 현재 상태를 나타내기 위한 LED, 사용자에게 알람을 주기 위한 부저, 현재 밝기를 추정하기 위한 조도 센서를 포함하고 있다. 또한 웨어러블 카메라의 구조에 맞춘 케이스를 제작하여 결과물을 장착할 수 있도록 하였다.

안드로이드 어플리케이션은 그림 7과 같은 형태로 구현하였다. 웨어러블 카메라로부터 수신한 이미지를

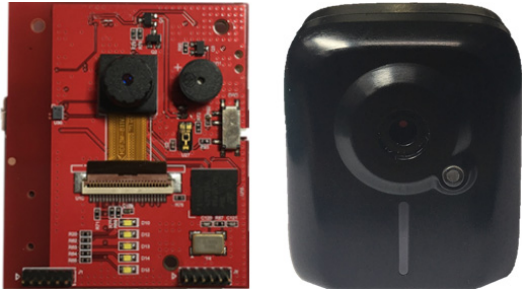


그림 6. 구현한 하드웨어의 사진
Fig. 6. Hardware implementation

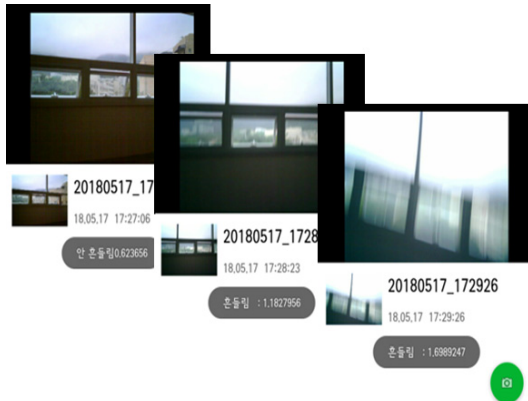


그림 7. 웨어러블 카메라 장치에서 수신한 사진에 대한 흔들림을 판별하는 안드로이드 어플리케이션
Fig. 7. Android application to determine the shake of a picture received from a wearable camera device

사용자에게 표시할 수 있으며, 이미지 목록을 관리하여 그 동안 촬영한 사진 목록을 확인할 수 있도록 하였다. 또한 해당 사진의 상세보기에서 흔들림 레벨을 출력하도록 만들어 각 사진에 대한 흔들림 정도를 사용자가 확인할 수 있도록 하였다. 흔들림의 정도를 더 심해질수록 더 큰 흔들림 정도의 값이 나타남을 그림 7에서 확인할 수 있다.

IV. 성능 평가

제안하는 해상도 분류 기법의 성능을 평가하기 위하여 실험을 다음과 같이 구성하였다. 사진 데이터와 가속도 데이터를 수집하기 위하여 웨어러블 카메라를 가슴에 달고 약 1시간 40분 동안 200장의 사진을 촬영하였다. 주기적 촬영은 30초마다 한 번씩 이루어졌으며, 사진이 촬영될 때의 가속도 크기를 함께 수집하였다. 또한 흔들린 사진과 정상적인 사진이 비슷한 비율로 나타날 수 있도록 지속적으로 움직이면서 사진을 촬영하였다. 데이터를 수집하는 과정에서 실제로

낮은 해상도로 변경될 경우, 제안하는 해상도 조절 기법의 효율성을 파악하기 어렵기 때문에 2개의 장치를 활용하여 한 장치는 고해상도로 이미지를 촬영을 수행하고, 나머지 장치는 저해상도로 이미지를 촬영하였다. 흔들린 상황에 대한 판단은 고해상도로 촬영된 이미지를 기반으로 수행하였고, 안드로이드 장치에서 판단한 흔들림 정도를 장치가 촬영한 사진과 함께 저장하여 데이터셋을 구성하였다. 저해상도의 이미지는 내부 저장장치에 지속적으로 저장한 뒤 해상도 변경을 통한 선명도 실험에 활용되었다.

먼저 해상도 변경으로 인한 흔들림 정도 개선에 대한 확인을 위하여, 촬영한 사진의 선명도를 추정하는 기존 연구^[18]를 통한 성능평가를 수행하였다. 이 연구에서 제안하는 Cumulative probability of blur detection (CPBD)는 확률적으로 이미지의 윤곽선을 분석하여 선명도 값을 계산한다. 그림 8과 같이 흔들린 사진들에 대한 CPBD 값은 고해상도로 촬영한 경우보다, 저해상도로 촬영한 경우에 더 높게 나타난다. 흔들림의 정도에 따라 그 차이는 달라질 수 있지만 저해상도로 촬영하게 될 경우 더 선명한 사진이 촬영됨을 알 수 있다. 고해상도와 저해상도로 촬영한 이미지의 평균 CPBD는 약 0.37, 0.45로 나타났으며, 해상도를 조절한 경우에 1.2배 정도의 선명도를 확인할 수 있었다.

제안하는 실시간 해상도 조절 기법의 성능을 확인하기 위하여, 해상도를 변경하기 위한 임계값에 대한 그래프를 그림 9와 같이 확인할 수 있다. 주변 환경이 변화함에 따라 흔들리는 상황에 대한 가속도 크기의 임계값을 조절하기 위하여 피드백을 받는 것이 잘 나타나있다. 안드로이드 어플리케이션과의 협업을 통해 현재의 흔들림 판단이 정확하지에 대한 피드백 과정을 통하여 임계값을 조절하게 된다. 그래프에서 흔들린 사진이 촬영되기 쉬운 환경으로 이동하였을 때, 임

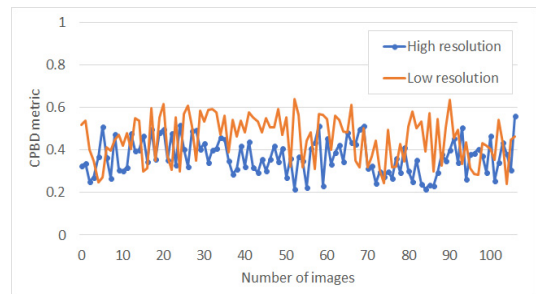


그림 8. 해상도 변경에 따른 사진의 선명도 비교 실험
Fig. 8. Sharpness comparison experiment of images with changing resolution

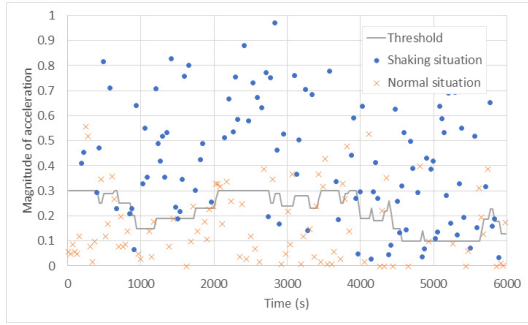


그림 9. 동적 임계값 기법을 활용한 이미지 분류의 결과
Fig. 9. Result of categorizing images using the dynamic threshold method

계값이 점차 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

환경에 적응적으로 임계값을 변경하는 기법의 효용성을 확인하기 위하여 고정적인 임계값을 가지는 경우와 비교한 결과는 표 1과 같이 나타난다. 고정적인 임계값을 활용하는 경우는 단순히 IMU 센서만을 활용하여 흔들림을 판단하는 것으로, 주변 환경에 대한 피드백 없이 통계적으로 고정적인 값을 활용하는 경우이다. 흔들렸다고 판단하여 해상도를 변경하려고 했는데, 실제로 흔들린 사진일 경우가 true positive (TP)로 나타나고 실제로는 흔들리지 않았을 경우가 false positive (FP)로 나타난다. 마찬가지로 흔들리지 않았다고 판단하여 해상도를 변경하지 않았는데, 실제로 흔들리지 않은 사진일 경우는 true negative (TN)로 나타나며 실제로는 흔들렸을 경우가 false negative (FN)로 나타난다. 제안하는 기법은 고정적인 임계값을 활용할 경우에 비하여 TP가 증가하였으나 TN이 감소한 결과를 나타내고 있다. 보다 확실한 비교를 위하여 모든 경우에서 TP와 TN만을 고려하여 나타난 정확도(accuracy)와 실제 흔들린 사진 중 올바르게 검출한 TP를 고려한 재현율(recall)을 기반으로 비교한 결과는 그림 10과 같이 나타난다. 흔들림을 올바르게 검출한 경우의 수가 증가하여 정확도가 70.5%에서

표 1. 제안하는 해상도 분류 기법의 성능
Table 1. Performance of proposed method

Features	Fixed threshold	Dynamic threshold
True positive (TP)	69	88
False positive (FP)	21	28
True negative (TN)	72	65
False negative (FN)	38	19

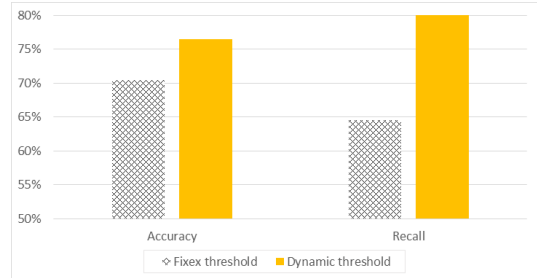


그림 10. 임계값 결정 방법에 따른 성능 비교 그래프
Fig. 10. Performance comparison according to threshold decision method

76.5%로 6% 증가하였고, 재현율이 64.5%에서 82.2%로 17.8% 증가하였다. 웨어러블 카메라가 사진을 촬영하는 경우에는 정확도보다 재현율의 증가가 큰 의미를 가지게 된다. 이는 흔들린 사진의 수를 줄여 유의미한 사진을 남긴다는 측면에서 중요한 성능지표로 활용될 수 있기 때문이다. 실험에서 흔들리지 않았는데 흔들렸다고 판단하여 더 낮은 해상도로 촬영하게 되는 FP가 늘어났다는 점보다, 흔들렸는데 흔들리지 않았다고 판단하여 흔들린 사진을 촬영하게 되는 FN이 정보의 유실이 더 크다는 것을 알 수 있다. 때문에 제안하는 해상도 조절 기법이 재현율을 크게 증가시키고 정확도 역시 약간 개선할 수 있어 웨어러블 카메라의 동작을 효율적으로 개선할 수 있음을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 개인의 일상을 기록하고 관리하기 위해 활용할 수 있는 웨어러블 카메라의 효율적인 동작을 위하여 촬영 해상도를 실시간으로 조절할 수 있는 시스템을 제안하고 구현하였다. 이 과정에서 장치가 흔들릴 때 사진 촬영을 연기하는 기존 기법과는 다르게 장치가 흔들릴 경우에는 해상도를 조절함으로써 사진의 흔들림을 감소시키는 방법을 채택하였다. 제안하는 시스템에서 웨어러블 카메라는 안드로이드 어플리케이션으로 사진을 전송하고 피드백을 수신함으로써, 이후에 촬영될 사진의 해상도를 결정하는데 활용하였다. 해상도의 임계값을 업데이트 할 때, 주변 환경에 빠르게 적응하기 위하여 피드백이 한 방향으로 지속적으로 이루어질 경우 가중치를 곱하여 빠르게 적응할 수 있도록 구현하였다. 안드로이드 어플리케이션은 오픈소스 라이브러리 기반의 이미지 처리를 통해 흔들림 정도를 파악하여 웨어러블 카메라에게 전

달하며 사용자로부터 수신한 사진 파일들을 관리하는 역할도 수행할 수 있도록 제작하였다. 제안하는 시스템의 성능을 평가하기 위하여 실험 과정에서 웨어러블 카메라 장치를 실제로 장착하고 데이터를 수집한 후 성능을 평가하였다. 고정적인 임계값을 활용하여 해상도를 변경하는 경우와 비교하였을 때, 흔들리는 사진에 대한 검출 정확도는 6% 상승하고 재현율은 17.8%가 상승하여 웨어러블 카메라의 목표에 맞게 효율적으로 동작할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] H. Goto and M. Tanaka, "Text-tracking wearable camera system for the blind," in *10th Int. Conf. Document Anal. and Recognition*, pp. 141-145, Barcelona, Spain, Oct. 2009.
- [2] K. Zhan, F. Ramos, and S. Faux, "Activity recognition from a wearable camera," in *12th ICARCV*, pp. 365-370, Guangzhou, China, Dec. 2012.
- [3] T. Ishihara, K. M. Kitani, W. C. Ma, H. Takagi, and C. Asakawa, "Recognizing hand-object interactions in wearable camera videos," in *IEEE ICIP*, pp. 1349-1353, Quebec City, Canada, Sep. 2015.
- [4] K. Ozcan and S. Velipasalar, "Wearable camera- and accelerometer-based fall detection on portable devices," *IEEE Embedded Syst. Lett.*, vol. 8, no. 1, pp. 6-9, Mar. 2016.
- [5] K. G. Song and Y. K. Oh, "Development of product-service for cloud based life-logging service by wearable camera," *J. Digital Design*, vol. 16, no. 3, pp. 75-86, Sep. 2016.
- [6] Y. Mi, K. Zheng, and S. Wang, "Recognizing actions in wearable-camera videos by training classifiers on fixed-camera videos," in *ACM ICMR*, pp. 169-177, Yokohama, Japan, Jun. 2018.
- [7] *Sony FDR*, Retrieved Sep. 21, 2018, from <https://www.sony.co.kr/electronics/actioncam/fdr-x3000-body-kit>
- [8] *GoPro HERO*, Retrieved Sep. 21, 2018, from <https://ko.shop.gopro.com/APAC/cameras/>
- [9] *SnapCam*, Retrieved Sep. 21, 2018, from <http://usa.ioncamera.com/snapcam>
- [10] *Narrative Clip 2*, Retrieved Sep. 21, 2018, from <http://getnarrative.com>
- [11] J. Healey and R. W. Picard, "StartleCam: a cybernetic wearable camera," in *Digest of Papers. Second Int. Symp. Wearable Comput.*, pp. 42-49, Pittsburgh, USA, Oct. 1998.
- [12] E. Berry, N. Kapur, L. Williams, S. Hodges, P. Watson, G. Smyth, J. Srinivasan, R. Smith, B. Wilson, and K. Wood, "The use of a wearable camera, SenseCam, as a pictorial diary to improve autobiographical memory in a patient with limbic encephalitis: A preliminary report," *Neuropsychological Rehabilitation*, vol. 17, no. 4-5, pp. 582-601, Oct. 2007.
- [13] M. G. Song, Y. G. Hur, N. C. Park, Y. P. Park, K. S. Park, S. C. Lim, and J. H. Park, "Development of small sized actuator for optical image stabilization," in *ISOT*, pp. 152-157, Istanbul, Turkey, Sep. 2009.
- [14] C. Morimoto and R. Chellappa, "Fast electronic digital image stabilization," in *13th Int. Conf. on Pattern Recognition*, pp. 284-288, Vienna, Austria, Aug. 1996.
- [15] Y. C. Su, K. Y. Huang, T. W. Chen, Y. M. Tsai, S. Y. Chien, and L. G. Chen, "A 52 mW Full HD 160-Degree object viewpoint recognition SoC with visual vocabulary processor for wearable vision applications," *IEEE J. Solid-State Cir.*, vol. 47, no. 4, pp. 797-809, Apr. 2012.
- [16] B. Kim, S. Lee, J. Seo, and Y. Baek, "Design and implementation of personal low-power life logger using multiple operating mode-based hierarchical image capture algorithm," *J. KICS*, vol. 42, no. 12, pp. 2316-2325, Dec. 2017.
- [17] R. Bansal, G. Raj, and T. Choudhury, "Blur image detection using Laplacian operator and Open-CV," in *SMART*, pp. 63-67, Moradabad, India, Apr. 2016.
- [18] N. D. Narvekar and L. J. Karam, "A no-reference image blur metric based on the cumulative probability of blur detection

(CPBD),” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 20, no. 9, pp. 2678-2683, Sep. 2011.

김 범 준 (Beomjun Kim)



2012년 2월 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학학사
2014년 2월 : 부산대학교 컴퓨터공학과 공학석사
2014년 3월~현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> 지능형 자동차, 저전력 기술, 임베디드 시스템

서 주 희 (Juhee Seo)



2017년 2월 : 동의대학교 전자공학과 졸업
2017년 3월~현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> 임베디드 시스템, 하드웨어 설계, 통신

백 윤 주 (Yunju Baek)



1990년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 공학학사
1992년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 공학석사
1997년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 공학박사
1999년~2002년 : NHN 기술연구소 소장

2003년~현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 정교수
<관심분야> RFID, WSN, RTLS, 임베디드 시스템