J. Inf. Technol. Appl. Manag. 29(6): 13~21, December 2022
https://doi.org/10.21219/jitam.2022.29.6.013

ISSN 1598-6284 (Print)
ISSN 2508-1209 (Online)

CT 기반 영상처리를 이용한 이차전지의 분석

오재석* · 이상열** · 양윤기*** · 류근호****

Analysis of Secondary Battery Based on Image Processing of Computed Tomography

Jea-Seok Oh* · Sang-Yeol Lee** · Yoon-Gi Yang*** · Keun-Ho Rew****

Abstract

In this study, we presented a method to inspect the mechanical defects of 4680 type lithium-ion batteries through image processing method. The raw X-ray images are filtered with CLAHE, then Radon inverse transformations are calculated to reconstruct 3D computed tomography of the battery. Using Haar-cascade, the ROI is targeted automatically, and the template matchings are applied twice. The variations of contrast between template and background show the appropriate values for detecting tabs. It was shown that the proposed algorithm can detect all the tab inside the battery and the distances between tabs. Finally, we successfully found the geometrical defects of battery.

Keywords : Secondary battery, Computed tomography, Machine vision, Failure detection

Received : 2022. 10. 11. Revised : 2022. 10. 26. Final Acceptance : 2022. 10. 26.

* First Author, Bachelor candidate, Department of Robotics Engineering, Hoseo University, e-mail : oh07020@gmail.com
** Co-Author, Professor, Department of Mechanical Engineering, Hansung University, 116 Sanseongyo-ro, Seongbuk-gu, Seoul, 02876, Korea, Tel: +82-2-760-4126, e-mail: sangyul.lee@hansun.ac.kr
*** Co-Author, Professor, Department of Information Telecommunication Engineering, The University of Suwon, 17 Wauan-gil, Bongdam-eup, Hwaseong-si, Gyeonggi-do, 18323, Korea, Tel: +82-31-220-2589, e-mail: ygyang@suwon.ac.kr
**** Corresponding Author, Professor, Department of Robotics Engineering, Hoseo University, 201 Sandan 7-ro, Seongmun-myeon, Dangjin-si, Chungcheongnam-do, 31499, Korea, Tel: +82-41-360-4862, e-mail: khrew@hoseo.edu

1. 서 론

화석 연료를 사용하는 내연기관 자동차는 주행 중 매연을 발생시키며 이는 지구온난화의 원인 중 하나이다. 이를 해결하기 위해 신재생 에너지와 같은 대체 에너지에 대한 연구가 활발해지고 있으며[Dincer, 1999] 이에 따라 매연을 발생시키지 않는 전기 자동차의 개발과 공급 또한 증가하고 있다. 전기 자동차란 내연기관을 동력으로 가지던 기존의 자동차와 달리 전기 에너지를 사용해 모터를 구동하는 것으로 내연기관을 대체하는 구동기관을 가진 자동차이다[Sun et al., 2020]. 모터를 구동하기 위해서는 자동차에서 전기를 저장하는 수단이 필요하며 이때 사용되는 것이 이차전지이다.

이차전지의 종류는 납 축전지(Lead-acid accumulator), 니켈 카드뮴(NiCd), 니켈 수소(NiMH), 리튬 이온(Li-ion), 리튬 이온 폴리머(Li-ion polymer)가 있으며[Yoshino, 2012] 본 연구에서는 리튬 이온 전지가 사용된다.

리튬 이온 전지는 폭발, 화재, 전해액의 누액 같은 위험성이 존재한다. 또한 리튬-이온 전지는 단락, 외부의 충격과 같은 요인에 의해 폭발의 위험성이 높으며 전기 자동차에서 사용되는 중형 배터리에서 발생한 화재는 물을 방수하는 것으로 진화를 시도할 경우 폭발이 발생할 수 있다[Diego and Timothy, 2011; Wang et al., 2019]. 이로 인해 공급 전 배터리의 결함을 찾기 위하여 전압, 전류측정을 기반으로 배터리 내부 단락으로 인해 발생하는 셀의 발열과정의 초기단계 중 팽창을 이용하여 불량을 검출하는 전기적 분석 방법[Cai et al., 2020], 컴퓨터 비전의 SVM(support vector machine)을 이용해 배터리 영상에서 배터리의 팽창여부를 판단하는 방법[Zhan et al., 2013], 배터리의 충방전을 반복해 생성된 전류와 전압의 값으로 이루어진 데이터로 random forest classifier를 학습시켜 배터리의 결함을 검출하는 방법[Naha et al., 2020], 딥 러닝과 컴퓨터 비전을 이용하여 광학 현미경을 사용한 배터리의 단면 셀 영상에서 미세 구조 결함을 자동으로 검출하는 방법[Badmos et al., 2030]과 같은 여러 방법이 제안되고 있으며, 다수의 국가에서는 안전인증 제도[Jin, 2019]를 두어 폭발 및 화재를 미연에 방지하는 노력을 기울이고 있다.

본 연구에서는 사용하는 4680 배터리는 리튬 이온 전지이며 지름 46mm와 높이 80mm의 원통형 배터리이다. 본 연구에서는 전압, 전류를 측정하는 전기적 방법, 배터리 팽창여부를 통해 기계적 결함을 판단하는 기존의 방법과 다르게 배터리의 CT 영상에 OpenCV의 특징점 검출 라이브러리를 이용한다. 이를 통해 4680 배터리의 탭 사이의 거리와 jelly roll 사이의 거리를 검출해 배터리 내부의 기계적인 불량을 검출하는 것을 연구의 목적으로 하였다.

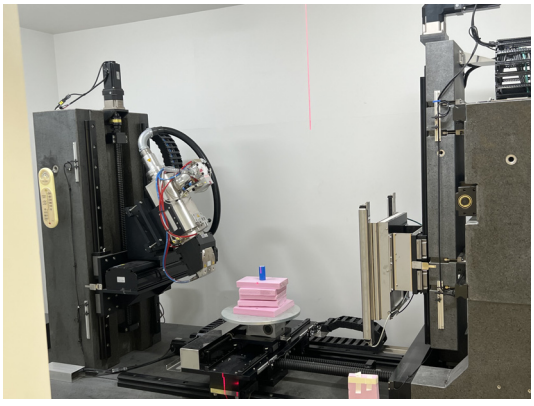
본 연구는 CT영상을 이용하여 배터리의 단락 및 불량여부를 판단하는 것이 목적이며 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 우선 촬영된 CT영상을 선명하게 전처리한 후 단층 영상을 획득한다. 단층 영상에서 관심 영역을 설정하고 탭의 상하단을 검출한다. 검출된 상하단으로부터 탭을 직선의 방정식으로 환산한 후 탭의 상단과 직선 사이의 거리를 구한다. 계산된 거리로부터 배터리의 단락 및 불량여부를 판단하였다.

2. 이차전지의 분석 방법

본 연구에서 사용된 CT 장비의 제원은 다음과 같다.

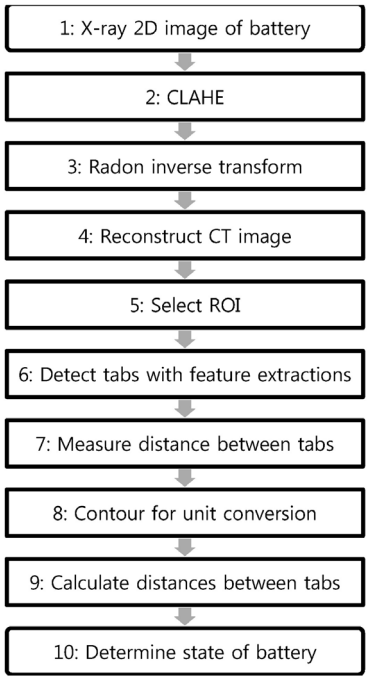
〈Table 1〉 Hardware Specification of CT

H/W	Value	Specification
X-ray performance	Penetration depth	20 ~ 60mm
	Irradiation area	400×400mm
	Measurement resolution	2.5 $\frac{lp}{mm}$ @15 FPS
	Pixel resolution	200㎛
	Pixel matrix	2048×2048



〈Figure 1〉 Hardware Image of CT

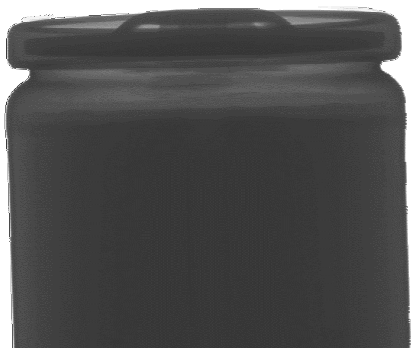
〈Figure 2〉는 알고리즘 흐름도이다. 4680 배터리의 X-ray영상을 CLAHE(contrast limited adaptive histogram equalization)로 전처리하여 화질을 개선한 후, 레이돈 역변환(Radon inverse transformation)을 통해 CT영상을 얻었다. CT영상의 관심영역(ROI: Region Of Interest)을 설정하고 2회에 거친 템플릿 매칭을 결합해 탭을 자동 검출한다. 이후 탭 역판단하는 후처리 과정으로 구성되어 있다. 1~2단계는 영상의 촬영 및 CLAHE를 이용한 전처리를 수행하고, 3단계는 영상 처리의 핵심인 레이돈 역변환을 통해 3차원 영상 배열을 획득하며, 4단계 이후는 OpenCV를 이용한 영상 후처리를 통해 배터리의 불량을 판별하는 단계로 구성되어 있다.



〈Figure 2〉 Algorithm Flowchart of Battery Inspection

2.1 이차전지 분석용 CT 영상 획득 방법

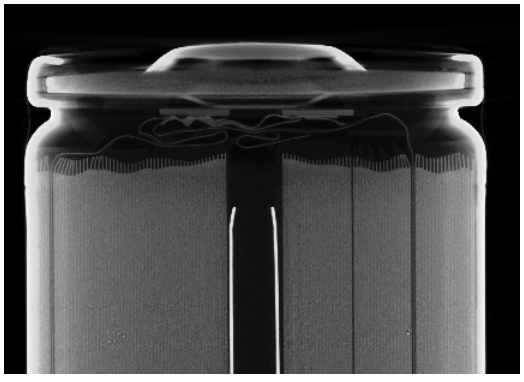
0.25°의 간격으로 촬영한 4680 배터리의 X-ray 영상 1440장을CLAHE 기법을 이용하여 전처리를 수행하였다. 〈Figure 3〉은 X-ray 영상의 한 예이며 〈Figure 4〉는 〈Figure 3〉을 CLAHE 기법으로 선명하게 만든 결과이다.



〈Figure 3〉 Raw X-ray Image of 4680 Battery

〈Figure 4〉 Application of CLAHE

CLAHE로 전처리된 1440장의 영상을 레이돈 역변환을 적용하면 3차원 영상 배열을 얻을 수 있다[Angela and Pavel, 2011]. 〈Figure 5〉는 3차원 영상 배열의 단면을 보여주며 배터리의 심과 전극 등을 선명히 확인할 수 있다.

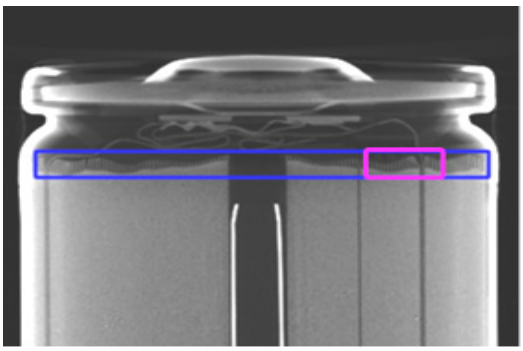


〈Figure 5〉 Tomography of 4680 Battery

2.2 이차전지 분석용 관심영역 설정 방법

배터리에서 일반적으로 많이 발생하는 단락을 확인하기 위해서는 전체 단면 영상에서 탭 부분만을 관심영역으로 설정하는 과정이 필요하다. 그러나 이를 일일이 사용자가 확인하여 수동으로 설정하는 것은 비용 및 시간적인 낭비가 크므로 자동으로 설정해야 한다.

관심영역의 자동설정을 위해서 Haar-cascade를 이용하였다. Haar-cascade는 영상을 스캔하면서 인접한 직사각형의 영역 내에 있는 픽셀의 합의 차이를 이용하여 Haar feature을 계산한다. 이렇게 계산된 Haar feature 중 낮은 오류율을 가진 특징을 선택하고 이를 영상에 적용하여 검출을 수행한다. 단층 영상에서 탭 부분이 다른 부분과의 구별이 어렵지 않아 적은 수의 샘플을 Haar-cascade의 학습에 사용하였다. 사용되는 샘플로는 검출 대상인 60장의 positive 샘플과 검출 대상이 포함되지 않은 300장의 negative 샘플을 사용하였고 학습시킨 결과는 〈Figure 6〉과 같다.



〈Figure 6〉 Tomography of 4680 Battery with ROI (blue), Magnified (Purple)

이후 본 연구에서는 〈Figure 6〉의 확대된 부분의 영상을 사용하였다.

2.3 이차전지의 탭 검출 방법

4680 배터리의 탭을 검출하기위해 OpenCV의 특징점 검출 라이브러리 중 템플릿 매칭을 이용하였다.

템플릿 매칭은 영상에서 주어진 템플릿과 매칭되는 위치를 탐색하여 일치하는 정도를 수치로 도출하여 검출을 수행한다. 이는 식 (1)과 같이 영상의 각 픽셀 값을 곱한 후 모두 더하고 이를 정규화 계수로 나누어 일치하는 정도를 수치로 표현한다.

$$R(x,y)=\frac{\sum_{x',y'}(T(x',y')\cdot I(x+x',y+y'))}{\sqrt{\sum_{x',y'}T(x',y')^2\cdot\sum_{x',y}I(x+x',y+y')^2}} \quad (1)$$

$T(x',y')$는 템플릿의 (x,y)의 값을 의미하며 $I(x,y)$는 영상의 (x,y)의 값을 의미한다.

위 수식은 결과값으로 영상에서 템플릿과 완전히 일치하는 부분은 1, 역일치하면 -1, 연관이 없으면 0을 반환한다. 이때 문턱 값(threshold)를 설정하는 것으로 이보다 작은 값을 가지는 결과값을 제거하였다.

해당 방법은 템플릿으로서 사용한 영상을 기준으로 대상 영상을 한 픽셀씩 이동하며 수학연산을 통해 비교하는 방식이다. 이러한 방식으로 인해 탭이 아닌 부분이라도 유사도가 높으면 특징점으로 검출되어 이를 제거해야 하는데 완벽히 제거할 수 없는 부분이 존재한다. 또한 탭부분이 주위의 어두운 부분과 픽셀 값의 차이가 명확하지 않으면 검출되지 않을 가능성이 존재한다.

(a) (b)

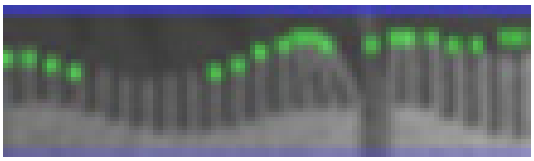
〈Figure 7〉 Template Images of Tab

〈Figure 7〉은 템플릿 매칭에 사용된 템플릿이며 〈Figure 8〉은 〈Figure 7〉 (a)를 템플릿으로 사용하고 문턱 값을 0.8로 설정하여 검출한 결과이다.

〈Figure 8〉 Result of Detected Tab with 〈Figure 7(a)〉

〈Figure 8〉에서 문턱 값을 감소시킴에 따라 특징점과 노이즈의 수가 반비례하게 증가하지만 특징점과 노이즈의 분리 및 후처리가 용이하다.

〈Figure 8〉에서는 노이즈의 제거를 위해 사용된 문턱 값의 값이 높게 설정되어 변형된 탭이 검출되지 않았다. 변형된 탭의 검출을 위해 〈Figure 7〉 (b)를 템플릿으로 사용하고 문턱 값의 수치와 관심영역의 하단을 감소시켜 〈Figure 9〉와 같은 결과를 얻었다.



〈Figure 9〉 Template Matching with 〈Figure 7(b)〉 and Lower Threshold Then 〈Figure 8〉

〈Figure 8〉과 〈Figure 9〉의 결과를 비교해보면 그림 9에서 검출되지 않은 탭과 〈Figure 8〉에서 검출된 탭이 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 이를 이용하여 2회의 템플릿 매칭을 결합해 다음과 같은 결과를 얻었다.

〈Figure 10〉 Union of 〈Figure 8〉 (red) and 〈Figure 9〉 (green)

〈Figure 7〉의 템플릿에 식(2)의 α값을 통해 명암대비를 조절하여 검출한 탭의 수는 다음 표와 같다.

$$R(x,y) = (I(x,y) + (I(x,y) - 128) \cdot \alpha) \qquad (2)$$

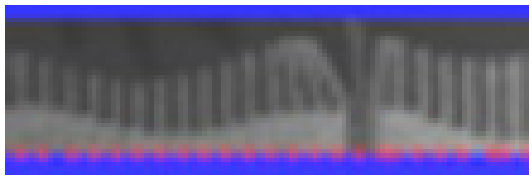
〈Table 2〉 Detection Results by the Contrast of Templates

value	Number of detected tabs	Relative error (%)	True condition
0.0	103	0.00	OK
0.2	101	1.94	False positive
0.4	136	-32.04	False negative
0.6	136	-32.04	False negative
0.8	136	-32.04	False negative
1.0	91	11.65	False positive

식 (2)의 $I(x, y)$는 템플릿의 (x, y)의 픽셀 값을 의미하며 α의 값이 0이면 원본 템플릿과 동일하고 증가함에 따라 템플릿의 밝기가 밝아지며 감소함에 따라 템플릿의 밝기는 어두워진다.

〈Table 2〉에서 α의 값이 점점 증가할 경우 더 많은 탭이 검출되지만 α의 값이 1.0일 때 탭의 검출 수가 급격하게 감소한 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 α의 값을 0.0으로 설정하였다.

이후 탭의 하단을 검출하기 위해 〈Figure 7〉 (a)를 템플릿으로서 관심영역의 상단을 줄이고 템플릿 매칭을 수행하였다. 〈Figure 11〉은 검출 결과를 관심영역의 하단으로 정렬한 것이다.



〈Figure 11〉 Detected Bottom of Tabs Lined up to Bottom with 〈Figure 7(a)〉

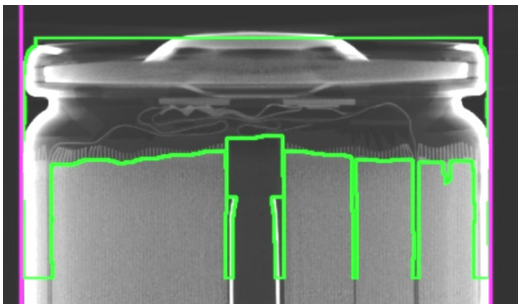
2.4 탭 사이의 거리 측정 방법

4680 배터리 케이스의 지름은 46mm로 〈Figure 5〉에서 케이스의 x좌표의 최대, 최소를 이용해 픽셀 당 거리를 계산한다. 배터리 케이스의 경계를 얻기 위해 contour 라이브러리를 이용한다. 윤곽(contour)은 동일한 색도를 가진 부분의 경계를 연결한 것으로 영상에서 물체의 모양이나 객체 인식 등에 활용한다. 주의할 사항은 검출하는 영상이 grayscale이고 검출 대상이 흰색, 배경이 검정색이어야 한다.

Contour 라이브러리를 이용할 때 보다 정확한 윤곽을 얻기 위해 Canny edge detection을 이용하였다. 이는 Gaussian filter를 적용하여 노이즈를 제거하고 Sobel kernel을 수평과 수직 방향으로 적용하여 각 방향에 대한 gradient를 얻는다. 이후 영상을 여러 구역으로 나누어 gradient방향으로 gradient의 값을 비교하여 해당 방향에서 가장 큰 값이 아니라면 해당 gradient 값을 0으로 만든다. 다음에 최댓값과 최솟값을 설정하여 해당 gradient값이 최댓값 이상이라면 edge로 판단하고 최솟값보다 작으면 edge 대상에서 제외한다. Gradient 값이 최댓값과 최솟값 사이라면 최댓값 이상인 gradient의 픽셀과 연결된 픽셀의 경우

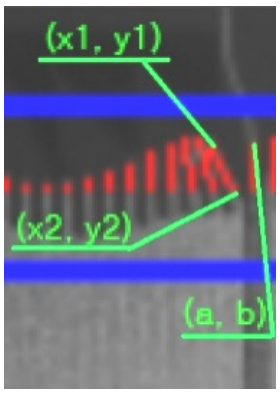
edge로 판단하고 그 이외의 경우 edge대상에서 제외한다.

Canny edge detection과 contour 라이브러리를 이용해 〈Figure 5〉의 윤곽을 얻고 이를 이용해 4680 배터리 케이스의 x좌표의 최댓값, 최솟값을 얻었다.



〈Figure 12〉 Result of Contours (Green) and min x, max x Vertical Line (Purple)

〈Figure 10〉에서 얻은 탭 상단의 좌표로 이루어진 배열과 〈Figure 11〉에서 얻은 탭 하단의 좌표로 이루어진 배열을 x좌표를 기준으로 정렬한 후 상단과 하단의 배열을 매칭시켰다.



〈Figure 13〉 Illustration of Equation (2)

이후 〈Figure 13〉과 같이 두 배열을 이용해 각 탭을 직선의 방정식으로 환산하고 인접한 탭 상단의 좌표를 직선과 점 사이의 최단거리인 수직선의 길이를 구하는 공식

$$d = \frac{|((x_1 - a) \cdot (y_2 - b) - (y_1 - b) \cdot (x_2 - a))|}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}} \quad (3)$$

을 적용했다.

하지만 본 연구에서는 탭의 길이가 고정되어 직선의 연장을 고려하지 않으므로 직선과 점의 수직선이 없는 경우가 발생한다. 이러한 경우에만 탭의 상단과 하단까지의 거리 중 짧은 거리를 최단거리로 사용했다.

〈Figure 14〉 Nearest Distance (Yellow), Farthest Distance (Purple)

2.5 이차전지의 불량 판단 방법 및 결과

〈Figure 12〉의 결과를 이용해 케이스 지름인 46mm를 최대 x좌표와 최소 x좌표의 차를 나누는 것으로 $\mu m/pix$을 계산했다. 이렇게 계산된 $\mu m/pix$과 〈Figure 14〉에서 계산된 탭 간의 최대, 최소 픽셀거리를 이용하여 구해진 거리를 통해 4680 배터리의 단락여부를 판단한다. 다음은 탭 간의 최대, 최소거리 및 〈Figure 11〉의 jelly roll간의 간격이다.

〈Table 3〉의 가장 작은 탭 사이의 거리가 0에 근접함에 따라 탭의 접촉여부를 판단할 수 있으며, 이를 통해 4680 배터리의 단락여부를 판단해 불량을 검출한다.

〈Table 3〉 Detected Distances between Tabs

Variables	Distance (㎛)
Minimum distance between tab	196.4
Maximum distance between tab	639.5
Distance between jelly roll (mean value)	357.5

본 연구에 사용된 4680 배터리의 경우 계산된 최단거리가 196.4㎛로 탭끼리 완전히 접촉된 것은 아니지만 반복적인 충방전으로 인한 탭의 거리변화나 외부의 충격이나 진동으로 인한 탭 간의 접촉 등과 같은 원인으로 단락의 위험성이 높아 불량으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서는 4680 배터리의 CT영상 1,440장을

CLAHE 기법을 통해 선명하게 전처리하고 레이돈 역변환을 적용해 단층 영상을 획득하였다. 그 후 Haar-cascade를 이용해 단층 영상에서 탭 부분만을 관심영역으로 자동 설정하였다. 이후 관심영역을 2회의 템플릿 매칭을 이용해 검출된 탭의 상하단의 좌표로 탭을 직선의 방정식으로 환산하였다. 환산된 직선의 방정식과 탭 상단의 좌표를 사용해 최단 거리를 계산하였다. 다음에 계산된 거리를 통해 탭 간의 접촉여부를 판단하여 배터리의 단락여부 및 불량여부를 판단하였다.

본 연구에서 이용한 이중 템플릿 매칭은 수식 (1)에서 알 수 있듯이 원본 영상과 템플릿 픽셀 값을 수학연산을 통해 -1에서 1 사이의 값을 가지는 결과값으로 유사도를 판단한다. 하지만 해당 픽셀 값의 차이가 작으면 유사도의 차이가 작아져 문턱 값으로 노이즈를 제거하는 단계에서 탭이 아닌 부분이 검출되거나 탭이 검출되지 않는 한계가 있다. 이는 〈Table 2〉와 같이 영상의 명암 대비를 조절하는 것으로 유사도의 차이를 보정해 탭 검출 성능의 한계를 향상시킬 수 있다.

본 연구에서 제안한 알고리즘은 CT영상 처리 과정을 이용하여 이차 전지 내부의 기계적인 불량의 판단 여부에 사용될 수 있다.

향후 다양한 이차 전지의 불량을 자동으로 검사할 수 있는 연구를 할 계획이다.

References

〔1〕 Angela, C. and Pavel, M., Introduction to Computed Tomography, DTU Mechanical Engineering Publishing, 2011.

〔2〕 Badmos, O., Kopp, A., Bernthaler, T., and Schneider, G., "Image-based Defect Detection in Litium-Ion Battery Electrode using Convolutional Neural Networks", J. of Intelligent Manufacturing, Vol. 31, 2020, pp. 885-897.

〔3〕 Bong, C. W., Xian, P. Y., and Thomas, J., "Face Recognition and Detection Using Haars Features with Template Matching Algorithm", Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 1072, 2020, pp. 457-468.

〔4〕 Cai, T., Pannala, S., Steanopoulou, A. G., and Siegel, J. B., "Battery Internal Short Detection Methodology Using Cell Swelling Measurements", American Control Conference (ACC), Denver, CO, USA, 2020, pp. 1143-1148.

〔5〕 Chung, B. W. C., "Feature Detection and Matching", Pro Processing for Images and Computer Vision with OpenCV, 2017, pp. 219-261.

〔6〕 Diego, L. and Timothy, S., "A Review of Hazards Associated with Primary Lithium and Lithium-ion Batteries", Process Safety and Environmental Protection, Vol. 89, 2011, pp. 434-442.

〔7〕 Dincer, I., "Environmental Impacts of Energy", Energy Policy, Vol. 27, 1999, pp. 845-854.

〔8〕 Gomez, L. and Karatzas, D., "MSER-Based Real-Time Text Detection and Tracking", 22nd International Conference on Pattern Recognition, 2014, pp. 3110-3115.

〔9〕 Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., Digital Image Processing, Pearson Publishing, 2017.

〔10〕 Jin, H. C., "산업용 리튬 이차전지 안전", Korean Agency for Technology and Standards, Oct 21, 2019, https://www.kats.go.kr/content.do?cmsid=304&mode=view&page=10&cid=20353.

〔11〕 Kim, J. K., Cho, W. H., Na, M. H., and Jeon, M. H., "Development of Automatic Classification System of Vegetables by Image Processing and Deep Learning", J. of The Korean Data Analysis Society, Vol. 21, 2019, pp. 63-73.

〔12〕 Kini, S., Bhandarkar, R., and Shenoy, K. P., "Real Time Moving Vehicle Congestion Detection and Tracking using OpenCV", Turkish J. of Computer and

Mathematics Education, Vol. 12, 2021, pp. 273-279.

〔13〕 Meimban, R. J., Fernando, A. R., Monsura, A., Ranada, J., and Apduhan, J. C., "Blood Cells Counting using Python OpenCV", 14th IEEE International Conference on Signal Processing, 2018, pp. 50-53.

〔14〕 Naha, A., Khandelwal, A., Agarwal, Tagade, P., Hariharan, K. S., Kaushik, A., Yadu, A., Kolake, S. M., Han, S., and Oh, B., "Internal Short Circuit Detection in Li-ion Batteries using Supervised Machine Learning", Scientific Reports, 2020.

〔15〕 Rublee, E., Rabaud, V., Konolige, K., and Bradski, G., "ORB: An Efficient Alternative to SIFT or SURF", International Conference on Computer Vision, 2011, pp. 2564-2571.

〔16〕 Sahraei, E., Campbell, J., and Wierzbicki, T., "Modeling and Short Circuit Detection of 18650 Li-ion Cells under Mechanical Abuse Conditions", J. of Power Sources, Vol. 220, 2012, pp. 360-372.

〔17〕 Sun, X., Li, Z., Wang, X., and Li, C., "Technology Development of Electric Vehicles: A Review", Energies, Vol. 13, 2020, pp. 1-29.

〔18〕 Thomas, L. S. V. and Gehrig, J., "Multi-Template Matching: A Versatile Tool for Object-Localization in Microscopy Images", BMC Bioinformatics, 2020.

〔19〕 Wang, Q., Mao, B., Stoliarov, S. I., and Sun, J., "A Review of Lithium Ion Battery Failure Mechanisms and Fire Prevention Strategies", Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 73, 2019, pp. 95-131.

〔20〕 Xu, H., Xie, S., and Chen, F., "Fast MSER", The IEEE / CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2020, pp. 3380-3389.

〔21〕 Yoshino, A., "The Birth of the Lithium-Ion Battery", Angewandte Chemie International Edition, Vol. 51, 2012, pp. 5798-5800.

〔22〕 Zhan, Y., Deng, J., and Wang, T., "Lithium Battery Swollen Detection based on Computer Vision", IEEE 4th international Conference on Software Engineering and Service Science, 2013, pp. 728-731.

〔23〕 Zhang, Y., Li, C., Cao, C., and Gao, Y., "An Improved ORB Feature Point Matching Algorithm", 2nd International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence, 2018.

저자소개

오재석

현재 호서대학교 AI융합학부 로봇공학과에 학사 과정 재학 중이며 주 관심분야는 딥러닝, 컴퓨터 비전이다.

이상열

현재 한성대학교 기계전자공학부 조교수로 재직 중이며, 서울대학교 기계항공공학부에서 학사 및 석사, 동 대학 자동차공학과에서 박사학위를 취득하였다. 두산인프라코어에서 선임 연구원, 호서대학교 로봇자동화공학과에서 조교수를 맡은 바 있다. 주 관심분야는 기계시스템과 인공지능, 영상처리이다.

양윤기

현재 수원대학교 정보통신 공학과 교수로 재직 중이며, 서울대학교 제어계측 공학과에서 학사 및 석사, 박사학위를 취득하였다. 삼성전자 통신연구소에서 선임 연구원을 맡은 바 있다. 주 관심분야는 통신시스템, 인공지능, 영상처리이다.

류근호

현재 호서대학교 로봇공학과 교수로 재직 중이며, KAIST 기계공학과에서 학사 및 석사, 박사학위를 취득하였다. 미래산업에서 선임 연구원, 파인디앤씨에서 책임 연구원을 맡은 바 있다. 주 관심분야는 모터제어, 영상처리, 신호처리이다.