



공학전문석사학위논문

# 레이저 카메라 퓨전 기반 차량 와이어 하네스 탭 터미널 위치 측정 검사 기술에 대한 연구

A Study on the Position Inspection Technology of Vehicle Wire Harness Tab Terminal Based on Laser Camera Fusion

2021년 2월

서울대학교 공학전문대학원 응용공학과 응용공학전공 김정호 레이저 카메라 퓨전 기반 차량 와이어 하네스 탭 터미널 위치 측정 검사 기술에 대한 연구

지도교수 이 경 수

이 프로젝트 리포트를 공학전문석사 학위 연구보고서로 제출함 2021년 1월

서울대학교 공학전문대학원

응용공학과 응용공학전공

김정호

김정호의 공학전문석사 학위 연구보고서를 인준함 2021년 1월



초록

최근의 자동차는 다양한 센서 기술의 개발과 함께 차량 주변의 환경 인지, 판단, 제어를 아우르는 자율 주행차를 향해 발전되고 있다. 기계요 소의 집합체였던 자동차가 전자, 컴퓨터 공학과의 결합으로 새로운 형태 로의 차량으로 변화하고 있다. 운전자가 개입하지 않아도 차량 스스로 목 적지를 향해 운행이 가능해지고, 차량에 탑승한 사람들의 차량 안에서의 시간도 여가 및 휴식 등으로 활용될 수 있다. 운전 부주의 등으로 인한 교 통사고로 사망하는 매년 100만 명 이상의 인명을 지킬 수 있으며, 운전이 어려운 노년층, 장애인 등에게도 손쉽게 이동 수단이 제공될 수 있다.

이러한 자율 주행 기술은 라이다, 레이더, 카메라와 같이 데이터 트레 픽이 많은 모듈들이 신뢰성이 확보된 상태에서 유기적으로 동작해야만, 이를 기반으로 동작하는 차량 탑승자와 주변 차량, 보행자 등의 안전을 담보할 수 있다. 특히 완벽하지 못한 배선 연결은 고도화된 차량 통신 및 제어시스템에서 치명적인 오류를 발생시킬 수 있다.

배선의 연결 불량은 전선의 오배선, 단락, 피복의 손상, 커넥터의 파 손, 터미널의 덜삽입, 휨 등의 다양한 유형이 존재하는데, 본 연구에서는 많은 모듈들이 통신을 하기 위해 필수적인 결선, 즉 차량용 하네스의 배선 의 개별 제품 신뢰성을 확보할 수 있도록 차량 와이어하네스 탭 터미널 휨 검사를 라인 레이저와 머신 비전 카메라를 이용하여 3차원 측정하고 및 검사 품질을 향상시키는 것을 목적으로 한다.

커넥터의 탭 터미널에 라인 레이저를 조사하고 머신 비전 카메라를 이용하여 얻어진 이미지를 통해 3차원 형상을 추출하는 과정에서의 광학 계에 대한 처리, 취득된 영상의 데이터 품질 개선을 위한 소프트웨어적인 처리를 실험을 통해 왜곡과 노이즈를 억제하고 원하는 터미널 형상과 위 치 측정이 가능한 방법을 제시하였다.

본 연구로 기존에는 검사할 수 없었던 차량 와이어하네스의 탭 터미 널 형상을 측정할 수 있게 되었고, 추후 자동차 전장 부품 측정, 외관검사, 다른 산업에서 형상 측정이 필요할 경우 다양한 산업 분야에서 사용될 것 이다.

주요어: 탭터미널, 휨검사, 자동차 와이어 하네스

**학번:** 2016-22202

## 목차

I.	서	론	1
	1.1	연구의 배경	1
	1.2	연구의 내용	3
	1.3	논문의 구성	4
II.	선	행 연구 및 실험 환경 구성	5
	2.1	선행 연구 고찰	5
	2.2	이미지 촬영을 위한 직교 로봇 설치	7
	2.3	측정을 위한 라인 레이저와 머신 비전 카메라 설치	8
	2.4	측정 시스템의 좌표계 정의	10
	2.5	X, Y, Z 축 해상도 결정	12
	2.6	표본 커넥터와 표본 탭 터미널 선정	13
Ш	[. 소	프트웨어 측면의 접근	15
	3.1	원근 변환(Perspective Transform)	15
	3.2	이웃 프레임 필터(Neighbor Frame Filter)	21
	3.3	평균값 필터(Mean Filter)	23
	3.4	가우시안 필터(Gaussian Filter)	25
	3.5	중간값 필터(Median Filter)	31
	3.6	샤프닝 필터(Sharpening Filter)	36
	3.7	양방향 필터(Bilateral Filter)	45
	3.8	필터 층(Layered Filter)	50

	3.8.1	3차원점	좌표 집	]합(3I	) Poir	nt Clo	oud)			•	 •	52
	3.8.2	캐니 모/	허리 검출	출기(C	anny	Edge	Dete	ector	;).	•	 •	53
IV. 실	험 결과				•••						 •	57
4.1	다양힌	필터 조합	같의 비고	2								57
4.2	커넥터	의 평면 =	측정		•••							59
4.3	커넥터	의 정상 팀	뭡 터미널	칠 측정								62
4.4	커넥터	의 휜 터디	비널 측정	3	•••							64
<b>V.</b> 결	론				•••							66
5.1	연구 겉	<u></u> ]과			•••						 •	66
5.2	후속 የ	연구 과제			•••							68
참고 문	헌				•••					•	 •	69
Abstrac	et											71

## 그림목차

그림 1.	탭 터미널 커넥터와 탭 터미널 휨 검출 지그	2
그림 2.	탭 터미널 커넥터와 탭 터미널 휨 검출 지그 삽입 직	
	전 모습	2
그림 3.	탭 터미널 커넥터와 탭 터미널 휨 검출 지그 삽입된	
	모습	2
그림 4.	설치된 직교 로봇	7
그림 5.	설치된 라인 레이저와 머신 비전 카메라	8
그림 6.	머신 비전 카메라 캘리브레이션 블록	9
그림 7.	1번 카메라의 좌표계	10
그림 8.	2번 카메라의 좌표계	10
그림 9.	직교 로봇의 좌표계	11
그림 10.	측정 장비의 좌표계	11
그림 11.	실험에 사용된 커넥터	13
그림 12.	실험에 사용된 탭 터미널	14
그림 13.	머신 비전 카메라에서 취득된 이미지	17
그림 14.	원근 변환 후 이미지	17
그림 15.	취득된 탭 터미널 이미지 : 섹션A	18
그림 16.	원근 변환 후 탭 터미널 이미지 : 섹션A	18
그림 17.	취득된 탭 터미널 이미지 : 섹션B	19
그림 18.	원근 변환 후 탭 터미널 이미지 : 섹션B	19
그림 19.	취득된 탭 터미널 이미지 : 섹션C	20
그림 20.	원근 변환 후 탭 터미널 이미지 : 섹션C	20

그림 21.	가우시안 필터 적용된 이미지 : 섹션A	27
그림 22.	가우시안 필터 적용된 이미지 : 섹션B	28
그림 23.	가우시안 필터 적용된 이미지 : 섹션C	29
그림 24.	소금과 후추 노이즈에 대한 가우시안 필터(σ = 1)와	
	중간값 필터(ksize=3) 적용 전후의 터미널 이미지 :	
	섹션A	33
그림 25.	소금과 후추 노이즈에 대한 가우시안 필터(σ = 1)와	
	중간값 필터(ksize=3) 적용 전후의 터미널 이미지 :	
	섹션B	34
그림 26.	소금과 후추 노이즈에 대한 가우시안 필터(σ = 1)와	
	중간값 필터(ksize=3) 적용 전후의 터미널 이미지 :	
	섹션C	35
그림 27.	샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이	
	미지(γ=1): 섹션A	38
그림 28.	샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이	
	미지(γ=1):섹션B	39
그림 29.	샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이	
	미지(γ=1): 섹션C	40
그림 30.	샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이	
	미지(σ=1):섹션A	42
그림 31.	샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이	
	미지(\sigma=1):섹션B	43
그림 32.	샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이	
	미지(σ=1):섹션C	44

그림 33.	양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 전후의 터미널 이	
	미지 : 섹션A	47
그림 34.	양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 전후의 터미널 이	
	미지:섹션B	48
그림 35.	양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 전후의 터미널 이	
	미지 : 섹션C	49
그림 36.	적용된 필터 층의 구조	51
그림 37.	3차원 점 좌표로 구성된 탭 터미널과 커넥터	52
그림 38.	3차원 점 좌표로 구성된 탭 터미널(Top View)	52
그림 39.	이중 임곗값을 사용한 이력 현상(Hysteresis) 모서리	
	트래킹[1]	54
그림 40.	적층된 커넥터와 터미널 이미지	55
그림 41.	캐니 모서리 검출기 적용된 커넥터와 터미널 이미지 .	56

## 표목차

표1.	β에 따른 표준 편차 및 개선 비율(%) : 섹션A	22
표 2.	β에 따른 표준 편차 및 개선 비율(%) : 섹션B	22
표 3.	β에 따른 표준 편차 및 개선 비율(%) : 섹션C	22
표 4.	3×3 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)	24
표 5.	5×5 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)	24
표6.	가우시안 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%) : 섹	
	션A	30
표7.	가우시안 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션B	30
표 8.	가우시안 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션C	30
표 9.	중간값 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%) : 섹션A	31
표 10.	중간값 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%) : 섹션B	31
표 11.	중간값 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%) : 섹션C	31
표 12.	샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)(γ=1)	
	:섹션A	37
표 13.	샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)(γ=1)	
	:섹션B	37
표 14.	샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)(γ=1)	
	:섹션C	37
표 15.	샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)(σ=1)	
	:섹션A	41
표 16.	샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)(σ=1)	
	:섹션B	41

표 17.	샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)σ = 1)	
	:섹션C	41
표 18.	양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 시 표준 편차 및 개선	
	비율(%) : 섹션A	46
표 19.	양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 시 표준 편차 및 개선	
	비율(%):섹션B	46
표 20.	양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 시 표준 편차 및 개선	
	비율(%) : 섹션C	46
표 21.	적용된 필터의 조합	58
표 22.	필터 적용 전과 후의 평균 제곱 오차 개선 비율 비교	60
표 23.	필터 적용 전과 후의 평균 제곱 오차 비교	61
표 24.	측정된 정상 탭 터미널 위치	62
표 25.	측정된 정상 탭 터미널 위치의 평균 제곱 오차	63
표 26.	측정된 휜 탭 터미널 위치	64
표 27.	측정된 휜 탭 터미널 위치의 평균 제곱 오차	65

#### 제1장

### 서론

#### 1.1 연구의 배경

도보, 말, 마차 등으로 시작된 개인의 이동 수단은 내연기관 발명과 함께 내연 기관 자동차의 출현으로 빠르고 편리한 이동 수단을 개인이 소 유하게 되었다. 처음 내연 기관 자동차가 소개되었을 때는 속도, 안전성, 운동성능 등의 기술적 향상이 매우 중요하였다. 이러한 기술 개발은 엔진, 서스펜션, 소재 등의 성능 향상으로 매우 높은 수준에 도달하였다.

지금은 전 세계는 친환경 자동차와 자율 주행 자동차 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 전기자동차와 수소 자동차, 하이브리드 자동차 등 모 터를 구동하는 자동차가 기존의 내연기관의 환경 오염 문제 해결책으로 부상하는 중이다.

이 모든 자동차 기술 개발의 정점에는 자율 주행 자동차가 있다. 자 동차의 기계적인 변화와 환경에 대한 비용보다 대중은 새로운 옵션인 운 전보조 기능, 더 나아가서는 자율 주행 자동차의 발전에 열광하고 그 발전 추이에 열광하고 있다.

자율 주행 자동차는 수많은 센서와 각 모듈의 CPU들이 유기적으로 데이터를 주고받으며 주변 도로 환경에 대한 인지, 주행과 관련된 판단, 이를 구동하기 위한 제어를 통해 운전자가 자동차 운행에 개입을 하지 않 고 스스로 움직이는 것을 말한다. 이때 모듈의 통신에 문제가 발행한다면 우리가 예상할 수 없는 동작 또는 사고로 이어질 것이다. 차량 와이어 하네스는 사람으로 비유하면 동맥과 신경계로 비유될 수 있다. 많은 노드들은 와이어 하네스로 연결되어 있는데 각 노드를 연결 하기 위하여 커넥터로 연결된다. 각각의 커넥터 내부에 위치한 암터널과 수터미널의 전기적 연결을 통해 신호와 동력이 전달된다. 수터미널의 형 상은 길고 평평한 모양[그림 1]이어서 쉽게 휘거나 부러질 수 있는데 현재 의 양산 공정에서는 수터미널의 형상을 측정할 수단이 없어 지그를 제작 하여 지그가 삽입이 가능[그림 3]하면 양품으로 판단하는 것이 현실이다. 또한 검사 결과를 기록할 방법이 없어 휴대용 카메라로 형상을 촬영하여 보관하거나 CCTV를 설치하여 단순 증빙만 보관하고 있다.



그림 1: 탭 터미널 커넥터와 탭 터미널 휨 검출 지그



그림 2: 탭 터미널 커넥터와 탭 터미널 휨 검출 지그 삽입 직전 모습



그림 3: 탭 터미널 커넥터와 탭 터미널 휨 검출 지그 삽입된 모습

#### 1.2 연구의 내용

본 논문은 수터미널, 통칭 탭 터미널의 형상과 위치를 라인 레이저와 머신 비전 카메라 2대를 이용한 3차원 측정을 하는 기술을 확보에 초점을 두고 있다. 라인 레이저와 머신 비전 카메라를 구성 시 필요한 광학계에 대 한 검토가 수행되었고, 머신 비전 카메라에서 기본 제공되는 프로파일의 한계점, 이미지 취득 시 수반되는 왜곡과 노이즈에 대한 문제를 개선하기 위한 방법 들에 대한 제시를 한다. 또한 실험을 수행하여 탭 터미널의 휨 여부를 정확하게 검출할 수 있는 3차원 표현과 평면상의 터미널 위치 표 현 방법을 고안하여 장비가 취득한 데이터를 사람이 육안으로 파악할 수 있는 방법을 확보한다.

머신 비전 카메라와 라인 레이저 사이의 각도는 커넥터 내부의 사 각을 어느 정도까지 측정할 수 있는지에 영향을 주고 머신 비전 카메라 2대를 사용하여 음영 영역을 최대로 회피하는 전략을 사용하였다. 또한 위의 각도는 높이를 측정하는 해상도에 큰 영향을 준다.

사용된 머신 비전 카메라는 빠른 제품화를 위해 프로파일 모드를 제 공하는 것이 특징인데, 이는 렌즈 또는 원근에 대한 왜곡이 발생하기에 본 연구에서 이를 극복하기 위한 방법을 고민하였다.

라인 레이저는 빛을 발광하는 장비이기 때문에 광학적인 특성에 따 른 초점 및 심도에 대한 처리가 필요하고 발생되는 노이즈를 최소화하고 원래의 형상을 복원하는 소프트웨어적인 처리 방법을 찾아보았다.

광학적 접근 방법으로 최적의 이미지를 얻은 다음 여러가지 필터를 조화롭게 사용하여 커넥터 탭 터미널의 형상을 복원하기 위한 다양한 시 도와 그 결과를 실험을 통해 실증하였다.

3

#### 1.3 논문의구성

본 논문의 구성은 다음과 같다.

제1장에서는 연구의 배경, 연구의 내용, 논문의 구성을 설명한다.

제2장에서는 선행 연구를 검토하고 실험 환경과 광학적인 구성에 대하여 설명하다.

제3장에서는 소프트웨어적인 해결을 위해 여러가지 필터와 필터 층 의 활용 방법에 대하여 설명한다.

제4장에서는 실험 결과에 대한 설명과 분석을 한다.

끝으로 제5장에서는 본 연구에서 산출된 결과에 대한 평가와 함께 향후 연구 과제에 대한 논의를 한다.

#### 제 2 장

### 선행 연구 및 실험 환경 구성

#### 2.1 선행 연구 고찰

기존의 연구를 참고하면 비행거리측정센서(ToF), 점레이저(Spot Laser), 라인레이저(Line Laser), 구조광(Structured Light)을 활용한 다양한 시도 가 지속되었음을 확인할 수 있다[2]. 비행거리측정센서를 이용한 측정 방 법은 대상에 레이저 펄스를 조사하여 표면에서 반사된 신호가 수신될때까 지의 시간을 측정하는 방법으로 외형을 스캔한다. 이 방법은 모터가 달린 발광기를 회전하며 데이터를 축적하여 대상의 3차원 외형 데이터를 취득 한다. 다만 한 포인트씩 데이터를 쌓는 구조이기 때문에 데이터 취득에 소요되는 시간이 길다는 단점이 있다. 점레이저, 라인스케너, 구조광을 이 용하는 방법은 원리가 비슷하지만 취득된 데이터의 정확도와 실시간 측정 가능 여부, 측정 가능 대상의 크기에 차이가 있다. 위에 나열된 비접촉 레이 저 삼각법은 3차원 모델링과 역설계 엔지니어링을 위한 간단하지만 우수 한 특성을 가지고 있다. 레이저의 방향과 위치를 계산하고 교정을 통하여 쉽게 측정이 가능하다. 픽셀 단위 이하의 측정을 위하여 보간법(subfixel) 을 활용하여 더 정밀하게 측정하는 것도 가능하다.

레이저와 카메라를 활용한 다양한 구성 또한 연구되었다. 카메라 1 대와 같은 색의 레이저 2개를 이용하여 측정 방법, 카메라 1대와 각기 다 른 색상의 2개의 레이저를 이용한 측정 방법, 2개의 카메라와 한개의 라인 레이저를 활용하는 방법 등이 있다[3]. 2개의 카메라와 1개의 라인 레이

5

저를 사용하는 것은 가장 정밀하지만 카메라의 가격이 두배로 증가하는 단점이 있고, 이를 극복하기 위한 방법으로 카메라 1개와 라인레이저 2 개를 사용하는 방법이 연구되었다. 카메라 1개와 같은 색상 라인 레이저 2개를 사용하는 방법은 각 레이저를 물체의 서로 다른 영역에 조사하여 카메라에서 받아들이는 영역이 구별되도록 하는 방법이 있다. 이 전략의 단점은 빛이 의도와 다르게 섞였을 경우 분별하기 어려움이 있고, 렌즈의 특성상, 심도의 부족으로 측정된 결과가 다소 부정확할 수 있다. 또 다른 전략은 컬러카메라(RGB Camera)와 빨강, 초록 라인 레이저를 조합하여, 컬러카메라의 빨간 층은 빨간 레이저를, 초록 층은 초록 레이저를 측광 하는 것인데, 컬러카메라의 구조가 한 픽셀의 영역에 3가지의 각기 다른 센서를 내재하여 흑백카메라에 비해 측정 품질이 떨어지는 단점이 있다.

측정하는 영역(ROI)를 넓게 하면, 측정시간은 빠르나 해상도가 떨 어지고, 측정하는 영역을 좁게 하면 원하는 영역을 모두 측정할 수 없는 한계가 있다. 이를 극복하기 위한 방법으로 레이저와 카메라의 각도를 가 변하면서 측정하고 깊이 방향으로 이동하며 데이터를 쌓아 정밀하게 넗은 영역의 데이터를 취득하는 방법도 연구되었다[4].

본 실험에서는 2개의 모노 카메라와 1개의 라인 레이저를 사용하여 취득된 영상의 품질을 우선하는 전략으로 장치를 고안하였고, 대상 커넥 터가 측정 범위보다 클 경우 카메라와 라인 레이저를 이동하며 측정할 수 있는 구조로 장치를 고안하였다.

6

#### 2.2 이미지 촬영을 위한 직교 로봇 설치

직교 로봇[그림 4]을 이용하여 광학 시스템이 X축 방향으로 등속 운 동하며 아래에 설치된 지그에 안착된 커넥터와 터미널을 연속으로 촬영할 수 있는 구조물이다. 촬영 중 가감속을 허용하지 않는 구조로 흔들림에 의 한 촬영이미지 품질 저하를 방지하였다.



그림 4: 설치된 직교 로봇

## 2.3 측정을 위한 라인 레이저와 머신 비전 카메라 설치

라인 레이저와 머신 비전 카메라를 [그림 5]와 같이 직교 로봇에 철치 하여 광학 시스템이 X축 방향으로 등속 운동하며 아래에 설치된 지그에 안착된 커넥터와 탭 터미널을 촬영할 수 있도록 실험 설비를 제작하였 다. 라인 레이저에서 매우 앏은 레이저 라인을 발광하고 그 반사된 빛을 머신 비전 카메라가 수광하여 컴퓨터에 그 정보를 전달하는 구조이다. 이 때, 머신 비전 카메라는 취득된 이미지 또는 매순간 촬영된 단면의 외곽 프로파일을 컴퓨터로 전송할 수 있다. 다만, 이미지를 전송할 경우 전송 시간이 많이 소요되는 단점이 있고, 반면 프로파일을 전송할 경우 노이 즈를 제거하거나 왜곡을 제거하는데 제약이 생긴다. 본 실험에서는 머신 비전 카메라에서 취득된 이미지를 컴퓨터에 저장하여 다양한 영상 처리 알고리즘을 통해 카메라에서 판별된 프로파일을 활용할 때에 비해 우수한 품질의 외형을 취득할 수 있도록 하였다.



그림 5: 설치된 라인 레이저와 머신 비전 카메라

8

또한, 장비에는 좌측과 우측에 설치된 2개의 카메라의 위치 편차를 보정하기 위하여 캘리브레이션 블록[그림 6]이 설치되어 있다. 하나의 점 은 각기 다른 두 대의 카메라에서 취득된 데이터 상에서도 같은 점으로 판단되어야 하는데, 이 보정을 위해 캘리브레이션 블록 위의 네 개의 점에 서 취득된 두 카메라에서 모두 일치된 좌표값을 가질 수 있도록 보정 값을 연산하기 위해 활용된다.



그림 6: 머신 비전 카메라 캘리브레이션 블록

#### 2.4 측정 시스템의 좌표계 정의

1번 카메라[그림 7]와 2번 카메라[그림 8]는 서로 좌우가 뒤바뀐 영상 을 촬영하게 되고, 직교 로봇은 [그림 9]과 같은 좌표계를 가지고 있다. 두 대의 카메라와 직교 로봇, 취득된 3D 데이터의 좌표를 통일하기 위하여 본 연구에서 사용될 좌표계[그림 10]을 정의한다.



그림 7:1번 카메라의 좌표계



그림 8: 2번 카메라의 좌표계



그림 9: 직교 로봇의 좌표계



그림 10: 측정 장비의 좌표계

#### 2.5 X, Y, Z 축 해상도 결정

각 축의 해상도는 직교 로봇의 이동 속도와 머신 비전 카메라의 해상 도, 초당 취득되는 이미지의 개수(FPS)[5], 수광소자(CMOS)의 크기, 카 메라 렌즈의 화각, 카메라와 터미널 사이의 거리와 카메라와 라인 레이저 사이의 각도를 통해 결정된다.

X축 해상도는 로봇의 이동속도와 FPS의 값에 영향을 받는다. 본 실 험에서는 광학계가 초당 0.5mm씩 X축의 방향으로 연속 촬영하고 초당 취득되는 이미지의 개수는 10장이다. 따라서 측정된 탭 터미널의 X축 해 상도는 0.05mm로 결정된다. X축의 해상도를 늘리기 위해서는 이동 속 도를 감소시키거나 초당 취득되는 이미지의 개수를 증가시키는 것으로 가능하다. 그러나 이동 속도를 증가시키면 취득되는 이미지에 노이즈가 더 많이 생길 수 있다. 또한 초당 취득되는 이미지의 개수는 해상도 등에 따라 단위시간당 최대로 취득할 수 있는 이미지 수에 한계가 존재한다. 반 대로 X축의 해상도를 감소시키면 데이터를 취득하는 총 시간을 줄일 수 있다. 머신 비전 카메라가 촬영하는 데이터는 YZ 평면의 데이터인데 카 메라의 CMOS 화소수는 측정하는 대상의 너비(Y)와 높이(Z)의 정밀도를 결정한다. 카메라 렌즈의 화각이 클수록, 카메라와 터미널 사이의 거리가 멀 수록 모든 축의 해상도는 감소한다. 카메라와 라인 레이저 사이의 각 도가 클수록 Z축 해상도가 감소하며, 탭 터미널 외형 취득 시 음영 구간이 증가할 가능성이 더 커진다.

#### 2.6 표본 커넥터와 표본 탭 터미널 선정

본 연구에서는 사용된 커넥터의 형상은 아래[그림 11]와 같다.



섹션A 섹션B 섹션C 그림 11: 실험에 사용된 커넥터

위의 커넥터는 3가지 형태의 탭 터미널이 사용되었는데 '탭 터미널 가', '탭 터미널 나', '탭 터미널 다'[그림 12]로 분류하고 각 군의 데이터 취득은 '섹션A', '섹션 B', 섹션C'로 특정하여 검증하기로 한다.



(a) 탭 터미널 가



(b) 탭 터미널 나



(c) 탭 터미널 다

그림 12: 실험에 사용된 탭 터미널

#### 제3장

### 소프트웨어 측면의 접근

#### 3.1 원근 변환(Perspective Transform)

카메라 렌즈의 광학적 특성에 따라 렌즈의 중심에 먼 직선일수록 곡 률이 큰 곡선으로 보이는 현상이 있다. 이러한 렌즈의 특성은 곡률 보상된 렌즈 선택을 통해 상쇄하였다. 그러나 우리의 눈과 같이 카메라에서 취득 된 영상도 가까운 물체는 크게 보이고, 멀리 있는 물체는 작게 보인다[6]. 이는 원근 변환을 통해 왜곡된 원근을 원래의 직교 좌표계로 변환을 해야 한다. 원근 변환을 수행하면 기존의 직선은 변환 후에도 직선으로 나타나 지만, 평행이었던 직선들의 일부는 평행 관계가 유지될 수도 있고 깨질 수 도 있다. 원근 변환은 원본 이미지 속의 4개의 좌표(y, z)와 직교 좌표계의 4 개의 좌표(y', z')와의 관계를 알 수 있어야 하고 이 상관관계(3.1)(3.2)(3.3) 를 통해 원근 변환 행렬을 구할 수 있다.

w는 비례 상수이고,

$$wx' = p_{11}x + p_{12}y + p_{13} \tag{3.1}$$

$$wy' = p_{21}x + p_{22}y + p_{23} \tag{3.2}$$

$$w = p_{31}x + p_{32}y + p_{33} \tag{3.3}$$

이렇게 한번 구해진 원근 변환 행렬은 광학계가 변경되지 않는 한 변 화하지 않기 때문에, 다른 프레임에서 취득된 이미지도 같은 원근 변환 행렬(*M<sub>p</sub>*)을 이용해 직교 좌표계로 쉽게 변환할 수 있다[1].

$$\begin{pmatrix} wx' \\ wy' \\ w \end{pmatrix} = M_p \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix}$$
(3.4)

$$x' = \frac{p_{11}x + p_{12}y + p_{13}}{p_{31}x + p_{32}y + p_{33}}$$
(3.5)

그리고

$$y' = \frac{p_{21}x + p_{22}y + p_{23}}{p_{31}x + p_{32}y + p_{33}}.$$
(3.6)

머신 비전 카메라에서 취득된 이미지[그림 13]를 원근 변환 행렬을 곱하여 연산하여 왜곡을 없앤 이미지[그림 14]를 복원할 수 있다.



그림 13: 머신 비전 카메라에서 취득된 이미지



그림 14: 원근 변환 후 이미지

탭 터미널을 촬영한 영상에서도 기존[그림 15][그림 17][그림 19]에 존재하였던 원근 왜곡이 사라진 것[그림 16][그림 18][그림 20]을 볼 수 있다.



그림 15: 취득된 탭 터미널 이미지 : 섹션A



그림 16: 원근 변환 후 탭 터미널 이미지 : 섹션A



그림 17: 취득된 탭 터미널 이미지 : 섹션B



그림 18: 원근 변환 후 탭 터미널 이미지 : 섹션B



그림 19: 취득된 탭 터미널 이미지 : 섹션C



그림 20: 원근 변환 후 탭 터미널 이미지 : 섹션C

#### 3.2 이웃 프레임 필터(Neighbor Frame Filter)

머신 비전 카메라는 촬영 시 랜덤한 노이즈가 발생하게 된다. 노이 즈를 제거하는 필터를 이용하여 탭 커미널 외형만을 복원해야 한다. 이를 위해 연속한 프레임에서 노이즈가 일정하게 발생하지 않는다는 가정으로 Neighbor Frame Filter(이웃 프레임 필터)를 설계하였다. 이 필터는 직전 프레임과 타깃 프레임, 그리고 직후 프레임의 각 YZ 표의 값의 평균을 계산한다.

직전 프레임의 픽셀 값은

$$f_{-1}(x,y)$$
 (3.7)

타깃 프레임의 픽셀 값은

$$f_0(x,y) \tag{3.8}$$

타깃 프레임의 비중[7]을 조절하는 변수

β (3.9)

직후 프레임의 픽셀 값은

$$f_{+1}(x,y) \tag{3.10}$$

결과 영상의 픽셀 값은

 $g(x,y) \tag{3.11}$ 

$$g(x,y) = (\frac{1-\beta}{2})f_{-1}(x,y) + \beta \times f_0(x,y) + (\frac{1-\beta}{2})f_{+1}(x,y)$$
(3.12)

이웃 프레임 필터를 적용하기 전과 후의 픽셀별 표준 편차와 개선 비율은 아래의 표와 같다.

표 1: β에 따른 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션A

β	0.8	0.5	$\frac{1}{3}$
필터 전 σ	18.90842307	18.90842307	18.90842307
필터 후 σ	18.82206668	18.77539735	18.72776267
개선 비율(%)	0.456708591	0.703526262	0.955449315

표 2: β에 따른 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션B

β	0.8	0.5	$\frac{1}{3}$
필터 전 σ	40.69759848	40.69759848	40.69759848
필터 후 σ	40.59209598	40.52595431	40.50019758
개선 비율(%)	0.259235195	0.421755017	0.485043098

표 3: β에 따른 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션C

β	0.8	0.5	$\frac{1}{3}$
필터 전 <b>σ</b>	35.59701568	35.59701568	35.59701568
필터후σ	35.49729388	35.49919387	35.48955479
개선 비율(%)	0.280140894	0.274803387	0.30188173

필터 적용 전에 비해 필터 적용 후 픽셀의 표준 편차가 개선된 것을 볼 수 있다. 또한 β가 <sup>1</sup>/<sub>3</sub>에 가까워질 수록 개선 비율이 높은 것도 확인하였다.

#### 3.3 평균값 필터(Mean Filter)

평균값 필터는 상대적으로 작은 마스크를 사용하여 효과적으로 노이 즈를 감소시킬 수 있다. 마스크의 크기는 일반적으로 3 X 3, 3 X 5 등의 홀수의 정방 행렬을 사용한다. 마스크가 각 프레임의 모든 이미지 영역을 이동하며 연산하여야 하기에 필터의 크기는 연산의 양, 시간과 직결된다. 연산의 직관성을 높이기 위해 홀수개의 행렬을 사용하는데, 십자가 모양 등의 마스크를 사용하여 연산량을 줄일 수도 있다. 본 연구에서는 3 X 3 과 5 X 5 평균값 필터를 사용하여 실험을 진행하였다. 만약 5 X 5 평균값 필터보다 더 큰 사이즈의 필터를 사용한다면 가우시안 필터 등의 사용이 권장된다.

평균값 필터

$$kernel = \frac{1}{ksize.width \times ksize.height} \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$
(3.13)

3 x 3 평균값 필터

$$3 \times 3$$
 Mean Filter  $= \frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$  (3.14)

5 x 5 평균값 필터

픽셀의 표준 편차가 아래의 표와 같이 필터 후에 개선된 것을 볼 수 있다.

표 4: 3 × 3 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)

섹션	섹션A	섹션B	섹션C
필터 전 σ	18.90842307	40.69759848	35.59701568
필터 후 σ	18.81688165	40.56830517	35.48845434
개선 비율(%)	0.484130408	0.317692722	0.304973158

표 5: 5 × 5 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)

섹션	섹션A	섹션B	섹션C
필터 전 σ	18.90842307	40.69759848	35.59701568
필터 후 σ	18.6786618	40.38362818	35.32346247
개선 비율(%)	1.215126589	0.771471309	0.768472314
## 3.4 가우시안 필터(Gaussian Filter)

가우시안 필터는 취득된 이미지의 노이즈가 정규분포를 따를 것이라 고 가정하고 사용한다. 필터의 사이즈는 일반적으로 8σ+1을 사용한다.

보통의 경우, 그 이외의 값은 거의 0에 가깝기 때문이다. σ<sub>x</sub> = 1인 경우의 1차원 가우시안 필터 마스크는 아래[수식 3.16]와 같다.

1차원 가우시안(**o**<sub>x</sub> = 1)

이미지에 적용하기 위해 2차원 가우시안 분포를 이용한다. 2차원 가 우시안 필터는 1차원 가우시안 필터와 1차원 가우시안 필터 전치 행렬과 의 곱과 같다. 이미지에 1차원 가우시안 필터로 먼저 필터링하고 그 결 과에 1차원 가우시안 필터 전치 행렬을 필터링 한 것과 2차원 가우시안 필터로 한 번에 연산한 것과 같다.

$$2D Gaussian Filter, G = g \times g^T$$
(3.17)

x와 y의 평균과 표준편차가 각각 0과 1인 경우, 분포는 x=0, y=0에서 최 댓값을 가지고, 아래의 부피는 1이 된다. 2차원 가우시안 분포를 디지털 필터로 만들기 위하여 필터 사이즈에 맞게 근사화한다.

σ<sub>x</sub> = σ<sub>y</sub> = 1인 경우의 2차원가우시안 필터 마스크는 아래[수식 3.18]
와 같다.

	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	0.0000	0.0000	0.0002	0.0011	0.0018	0.0011	0.0002	0.0000	0.0000
	0.0000	0.0002	0.0029	0.0131	0.0215	0.0131	0.0029	0.0002	0.0000
	0.0000	0.0011	0.0131	0.0586	0.0965	0.0586	0.0131	0.0011	0.0000
G =	0.0001	0.0018	0.0215	0.0965	0.1592	0.0965	0.0215	0.0018	0.0001
	0.0000	0.0011	0.0131	0.0586	0.0965	0.0586	0.0131	0.0011	0.0000
	0.0000	0.0002	0.0029	0.0131	0.0215	0.0131	0.0029	0.0002	0.0000
	0.0000	0.0000	0.0002	0.0011	0.0018	0.0011	0.0002	0.0000	0.0000
	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
							(	3.18)	

2차원 가우시안 분포 함수

$$G_{\sigma}(x)\sigma(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x\sigma_y}}e^{-(\frac{x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2})}$$
(3.19)



(a)  $\sigma = 1$ 



(b)  $\sigma = 3$ 



(c)  $\sigma = 5$ 

그림 21: 가우시안 필터 적용된 이미지 : 섹션A



(a)  $\sigma = 1$ 



(b)  $\sigma = 3$ 



(c)  $\sigma = 5$ 

그림 22: 가우시안 필터 적용된 이미지 : 섹션B



(a)  $\sigma = 1$ 



(b)  $\sigma = 3$ 



(c)  $\sigma = 5$ 

그림 23: 가우시안 필터 적용된 이미지 : 섹션C

위의 [그림 21], [그림 22], [그림 23]을 보면 o가 커질수록 이미지의 노이즈가 많이 감소하였으나 뭉개짐이 커지는 것을 볼 수 있다.

표 6: 가우시안 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션A

σ	1	3	5
필터 전 <b>o</b>	18.90842307	18.90842307	18.90842307
필터 우 <b>σ</b> 개선 비율(%)	18.78261989 0.665328806	18.201 <i>3</i> 234 <i>3</i> 3.739601347	17.44316861 7.749215539

표 7: 가우시안 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션B

σ	1	3	5
필터 전 σ	40.69759848	40.69759848	40.69759848
필터 후 σ	40.52197148	39.80154137	38.91735634
개선 비율(%)	0.431541416	2.201744433	4.374317408

표 8: 가우시안 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션C

σ	1	3	5
필터 전 σ	35.59701568	35.59701568	35.59701568
필터 후 σ	35.44744116	34.75150015	33.82453146
개선 비율(%)	0.420188375	2.375242745	4.979305674

가우시안 필터의 표준 편찻값(σ = 1, 3, 5)을 이용하여 σ가 커질수록 노이즈가 감소함을 확인하였다.

## 3.5 중간값 필터(Median Filter)

중간값 필터는 이미지에서 필터 영역 안에 위치한 픽셀들을 픽셀 값 크기 순서로 정렬을 하고 그중에 중간값을 보정된 이미지에 사용한다. 유 사한 필터 들은 필터 사이즈 안 픽셀 들의 원래의 값에서 평균적인 값으로 보정하기에 노이즈가 발생한 픽셀에서의 출력이 완전하게 독립될 수 없 지만, 중간값 필터는 매우 크거나 작은 값의 노이즈만을 회피[8]하는데 장점이 있다.

표 9: 중간값 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션A

필터 사이즈	3	5	7
필터 전 σ	18.90842307	18.90842307	18.90842307
필터후σ	18.87172057	18.78487023	18.64112358
개선 비율(%)	0.194106643	0.653427535	1.413652989

표 10: 중간값 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션B

필터 사이즈	3	5	7
필터 전 σ	40.69759848	40.69759848	40.69759848
필터 후 σ	40.64362904	40.52581107	40.36194558
개선 비윸(%)	0.132610857	0.422106977	0.824748653

표 11: 중간값 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션C

필터 사이즈	3	5	7
필터 전 σ	35.59701568	35.59701568	35.59701568
필터 후 σ	35.56933681	35.49661626	35.37525775
개선 비율(%)	0.077756146	0.282044474	0.622967762

조도가 부족한 부분에서는 소금과 후추 노이즈라고 통칭되는 노이즈 가 흔히 발생한다. 가우시안 필터 등의 필터를 사용하면 노이즈가 평균값 에서 큰 차이가 있을 경우 필터 후에도 노이즈가 남아있게 된다. 중간값 필터는 노이즈 원래의 값은 영양을 받지 않고 주변 픽셀 값 중 중간값을 취하기 때문에 평균에서 크게 벗어난 노이즈를 제거하는데 효과가 크다. 측정하는 커넥터의 색상과 카메라 셔터스피드 등에 따라 측정되는 노이 즈의 정도가 매번 다르기 때문에 노이즈의 비율를 특정할 수는 없다. 본 실험에서는 노이즈의 비율이 5%일 때를 가정하였다. 실험은 임의로 5% 의 가우시안 노이즈를 생성하여 중간값 필터의 효과를 검증하고, 가우시 안 필터와의 차이를 확인하였다.

아래의 [그림 24][그림 25][그림 26]에서 가우시안 필터가 적용된 이 미지는 노이즈가 발생한 위치의 값이 보정이 되었지만 완벽하게 제거되지 않는 것을 확인할 수 있다. 반면에 중간값 필터가 적용된 이미지는 주변 값 중에 중간값으로 대체되어 노이즈가 제거되었다.





(a) 원근 변환 후 소금과 후추 노이즈 5% 삽입된 탭 터미널 이미지

(b) 가우시안 필터(σ = 1) 적용된 탭 터미널 이미지



(c) 중간값 Filter(ksize=3) 적용 탭 터미널 이미지

그림 24: 소금과 후추 노이즈에 대한 가우시안 필터( $\sigma = 1$ )와 중간값 필터 (ksize=3) 적용 전후의 터미널 이미지 : 섹션A



(a) 원근 변환 후 소금과 후추 노이즈 5% 삽입된 탭 터미널 이미지



(b) 가우시안 필터( $\sigma = 1$ ) 적용된 탭 터미널 이미지



(c) 중간값 Filter(ksize=3) 적용 탭 터미널 이미지

그림 25: 소금과 후추 노이즈에 대한 가우시안 필터(σ = 1)와 중간값 필터 (ksize=3) 적용 전후의 터미널 이미지 : 섹션B



(a) 원근 변환 후 소금과 후추 노이즈 5% 삽입된 탭 터미널 이미지



(b) 가우시안 필터( $\sigma = 1$ ) 적용된 탭 터미널 이미지



(c) 중간값 Filter(ksize=3) 적용 탭 터미널 이미지

그림 26: 소금과 후추 노이즈에 대한 가우시안 필터( $\sigma = 1$ )와 중간값 필터 (ksize=3) 적용 전후의 터미널 이미지 : 섹션C

## 3.6 샤프닝 필터(Sharpening Filter)

샤프닝 필터[9]는 영상의 외곽이 좀더 뚜렷하게 나타나게 만드는 역 할을 한다. 노이즈를 제거하기 위하여 여러 필터를 거치면 경계가 다소 뭉개지는 현상이 생기는데 모서리 등이 다시 살아난 이미지로 복원하기 위해 사용된다. 샤프닝 필터를 구현하기 위해 평균값 필터, 가우시안 필 터 등을 활용한다. 원래의 영상에 언샤프닝 필터를 적용하면 모서리 등이 부드러워진 영상이 얻어지고, 이를 원본 이미지에서 빼면 날카로운 성분 만 남게 된다. 얻어진 날카로운 성분만의 이미지를 다시 원본 이미지와 합하면 처음보다 더 날카로운 이미지를 얻게 되는 것이다.

γ는 샤프닝 정도를 조절하는 변수일때, 샤프닝 필터는 다음과 같다.

$$h(x,y) = f(x,y) + \gamma \cdot g(x,y) \tag{3.20}$$

γ는 샤프닝 필터는 오버슛을 결정하고, g(x,y)의 필터 사이즈는 샤프 닝 필터의 사이즈를 결정한다.

표 12: 샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)(γ=1): 섹션A

σ	1	5	10
필터 전	18.90842307	18.90842307	18.90842307
필터 후	19.03129957	19.83267841	20.59732394
개선 비율(%)	0.649850565	4.888061468	8.932002761

표 13: 샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)(y=1): 섹션B

σ	1	5	10
필터 전	40.69759848	40.69759848	40.69759848
필터 후 개서 비유(%)	40.88612581	42.15992687	43.4630427

표 14: 샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)(y=1): 섹션C

σ	1	5	10
필터 전	35.59701568	35.59701568	35.59701568
필터 후	35.73913597	36.59309172	37.35690183
개선 비율(%)	0.399247776	2.798200981	4.943914872



(a)  $\sigma = 1$ 



(b)  $\sigma = 5$ 



(c)  $\sigma = 10$ 

그림 27: 샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이미지(γ=1): 섹션A



그림 28: 샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이미지(γ=1) : 섹션B



(a)  $\sigma = 1$ 



(b)  $\sigma = 5$ 



그림 29: 샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이미지(γ=1): 섹션C

표 15: 샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)(σ = 1): 섹션A

γ	1	5	10
필터 전	18.90842307	18.90842307	18.90842307
필터 후	19.03129957	19.45725551	19.97630761
개선 비율(%)	0.649850565	2.902581739	5.64766579

표 16: 샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%)(σ = 1): 섹션B

γ	1	5	10
필터 전 필터 후	40.69759848 40.88612581	40.69759848 41.54730087	40.69759848 42.26066206
개선 비율(%)	0.463239448	2.087844061	3.840677695

표 17: 샤프닝 필터 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%) σ = 1): 섹션C

γ	1	5	10
필터 전	35.59701568	35.59701568	35.59701568
필터 후	35.73913597	36.14432644	36.51711577
개선 비율(%)	0.399247776	1.537518655	2.5847675



(a)  $\gamma = 1$ 



(b)  $\gamma = 5$ 



(c)  $\gamma = 10$ 

그림 30: 샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이미지(σ = 1) : 섹션A



그림 31: 샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이미지( $\sigma = 1$ ) : 섹션B



(a)  $\gamma = 1$ 



(b)  $\gamma = 5$ 



그림 32: 샤프닝 필터(Sharpening Filter) 적용 후의 터미널 이미지( $\sigma = 1$ ) : 섹션C

## 3.7 양방향 필터(Bilateral Filter)

양방향 필터는 모서리를 선명하게 최대한 유지하면서 노이즈를 감 소시키는 필터[10]이다. 주변 픽셀의 두 점사이의 거리가 멀고 픽셀 값의 차이가 클 때 작은 가중치를 취하는 필터이다. 다만, 필터의 성능은 뛰어 나지만 연산량이 많아 실시간으로 처리되는 시스템에서는 필터의 크기를 작게 사용해야 한다.

f는 취득된 이미지, g는 필터된 이미지, p, q는 픽셀좌표,  $f_p$ ,  $f_q$ 는 각 점에서의 픽셀 값,  $G_{\sigma_s}$ 는 표준 편차가  $\sigma_s$ 인 가우시안 분포 함수,  $G_{\sigma_r}$ 는 표준 편차가  $\sigma_r$ 인 가우시안 분포 함수, S는 필터의 크기,  $W_p$ 는 합이 1인 정규화 상수일 때, p 점에서 양방향 필터[1] 결과는

$$g_p = \frac{1}{W_p} \sum_{q \in S} G_{\sigma_s}(\|p - q\|) G_{\sigma_r}(\|f_p - f_q\|) f_q$$
(3.21)

이다.

표 18: 양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%) : 섹션A

필터 사이즈	$\sigma_{Color}=10, \sigma_{Space}=5$	$\sigma_{Color}=20, \sigma_{Space}=10$
필터 전	18.90842307	18.90842307
필터 후	18.86957507	18.65580901
개선 비율(%)	0.205453431	1.335986934

표 19: 양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%): 섹션B

필터 사이즈	$\sigma_{Color}=10, \sigma_{Space}=5$	$\sigma_{Color}=20, \sigma_{Space}=10$
필터 전	40.69759848	40.69759848
필터 후	40.65315967	40.39564485
개선 비율(%)	0.109192703	0.741944589

표 20: 양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 시 표준 편차 및 개선 비율(%) : 섹션C

필터 사이즈	$\sigma_{Color}=10, \sigma_{Space}=5$	$\sigma_{Color}$ =20, $\sigma_{Space}$ =10
필터 전	35.59701568	35.59701568
필터 후	35.59269168	35.54055518
개선 비율(%)	0.012147077	0.158610216



(a) 크롭된 원본 이미지



(b)  $\sigma_{Color}=10$ ,  $\sigma_{Space}=5$ 



(c)  $\sigma_{Color}=20$ ,  $\sigma_{Space}=10$ 

그림 33: 양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 전후의 터미널 이미지 : 섹션A



(a) 크롭된 원본 이미지



(b)  $\sigma_{Color}=10$ ,  $\sigma_{Space}=5$ 



(c)  $\sigma_{Color}=20, \sigma_{Space}=10$ 

그림 34: 양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 전후의 터미널 이미지 : 섹션B



(a) 크롭된 원본 이미지



(b)  $\sigma_{Color}=10$ ,  $\sigma_{Space}=5$ 



(c)  $\sigma_{Color}=20, \sigma_{Space}=10$ 

그림 35: 양방향 필터(Bilateral Filter) 적용 전후의 터미널 이미지 : 섹션C

### 3.8 필터 층(Layered Filter)

앞선 장에서 카메라의 왜곡을 보정하고 노이즈를 감소시키는 등의 취득된 영상을 개선하기 위한 다양한 알고리즘을 시험하였다. 본 장에서 는 개별적으로 사용되었던 필터를 순차적으로 이미지에 적용하여 목표 하였던 커넥터 탭 터미널의 형상을 3차원으로 복원하고 커넥터 터미널의 위치를 특정하기 위한 외곽선을 찾아내는 알고리즘을 적용해보았다. 필 터 층에 사용된 다양한 필터는 각기 다른 특성이 있는데, 어떠한 조합이 커넥터와 터미널 형상 측정에 최상의 성능을 발휘하는지 확인해 보았다. 본 실험에서 사용하는 필터들은 대부분 비선형 필터이기 때문에, 필터의 적용 순서가 출력 이미지의 결과에 영향을 준다. 따라서 본 필터 필터 층 을 적용할 때에는 각 필터의 파라미터 값과 필터 적용 순서에 대한 영향을 같이 검토하여야 한다.



취득된 이미지

원근 변환

#### 3.8.1 3차원 점 좌표 집합(3D Point Cloud)

물체의 입체적인 형상을 표현하기 위하여 외곽을 X, Y, Z 좌표계의 점들로 나타낸 것을 3차원 점 좌표들의 집합(3D Point Cloud)이라고 한 다. 필터 층을 통하여 추출된 3차원으로 이루어진 점들의 집합(3D Point Cloud)을 높이에 따라 색을 달리하여 시각적으로 표현하면 아래의 [그림 36]과 같다. 터미널의 형상만을 위에서 위에서 내려다보는 시점의 이미지 는 아래의 [그림 38]과 같이 도식화할 수 있다.



그림 37: 3차원 점 좌표로 구성된 탭 터미널과 커넥터



그림 38: 3차원 점 좌표로 구성된 탭 터미널(Top View)

#### 3.8.2 캐니 모서리 검출기(Canny Edge Detector)

캐니 모서리 검출기[11]는 이미지의 모서리를 검출하는 알고리즘이 다. 비슷한 알고리즘의 소벨 필터는 마스크를 사용한 모서리 검출을 그래 디언트의 크기만을 이용하기 때문에 모서리 주변의 넓은 영역이 모두 모 서리로 검출되어 모서리의 위치를 정확하게 특정할 수 없는 단점이 있다. 반면, 캐니 모서리 검출기는 연산량은 늘어나는 단점이 있지만 낮은 에러 비율과 여러 개의 검출된 모서리 중 가장 실제와 가까운 모서리를 검출, 한 개의 모서리에서는 한 점으로 검출하는 장점이 있다. 따라서 본 연구에 서는 성능이 더 우수한 캐니 모서리 검출기를 채택하여 실험하였다.

캐니 모서리 검출기의 구조는 먼저 가우시안 필터 된 이미지에 그래 디언트의 크기와 방향을 연산한다.

Edge Gradient(L1 norm),

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$
(3.22)

Angle,

$$\boldsymbol{\theta} = \tan^{-1} \left( \frac{G_y}{G_x} \right) \tag{3.23}$$

위의 그래디언트의 크기와 방향의 정확성을 위해서는 위의 수식을 사용하여 연산하고, 보다 빠른 연산을 위해서는 그래디언트 크기는 L1노 름 대신 L2노름, 방향은 0도, 45도, 90도, 135도로 한정한다.

Edge Gradient(L2 norm),

$$|G| = |G_x| + |G_y|$$
(3.24)

구해진 모서리들을 비최대 억제(non-maximum suppression)을 수행

하는데, 정확한 에지만을 남기기 위하여, 주변 픽셀 중 그래디언트의 크기 가 가장 크고 방향이 일치하는 점만 에지 후보로 선정한다. 선정된 모서리 중 이력 현상(Hysteresis)를 고려하여 모서리를 검출하는데[9], 이중 임곗 값을 사용하여 최대 임곗값(*T<sub>High</sub>*) 이상의 모서리는 강한 에지로, 최소 임 곗값(*T<sub>Low</sub>*) 이하의 모서리는 에지가 아닌 것으로 판정하고, 최대 임곗값 (*T<sub>High</sub>*)과 최소 임곗값(*T<sub>Low</sub>*)사이의 에지는 그 연결이 최대 임곗값(*T<sub>High</sub>*) 과 이어질 경우에 모서리로 판정한다. 아래 그림 예의 경우, (a)는 모든 영 역에서 모서리로 판정, (b)는 모두 에지가 아닌 것으로 판정, (c)의 경우 최소 임곗값(*T<sub>Low</sub>*) 이상의 부분만 에지로 판정[그림 39]한다.



그림 39: 이중 임곗값을 사용한 이력 현상(Hysteresis) 모서리 트래킹[1]

이전까지의 필터는 카메라에서 취득된 영상 한 장 또는 인접한 영 상을 몇 장을 이용하여 필터를 적용한 후 한 프레임의 결과를 출력으로 하였다. 그 출력은 Y축과 Y축 위치별 높이 값(Z)를 출력으로 하는 X축 절 편의 외형 값이었다. 그러나 이번 실험에서는 X, Y, Z 차원 데이터를 X, Y 평면에 Z 축의 높이 값을 갖는 이미지로 변환[그림 40]하여 캐니 모서리 검출기를 적용하였다. XY 평면의 각 값들은 Z축 높이를 의미하기 때문 에 터미널과 커넥터의 외형을 등고 지도의 형태로 변환된다. 등고 지도의 경사가 가파른 부분은 커넥터와 터미널의 외형에 변화가 큰 것이라 가정 하고 본 실험을 진행하였다. 본 실험에서는 4.8절에서 사용한 필터 필터 층을 거쳐 얻어진 1번 카메라와 2번 카메라 이미지를 각각 캐니 모서리 검출기를 연산하고 구해진 모서리의 합을 출력으로 하였다.



(a) 적층된 커넥터와 터미널 이미지(1번 카메라)



(b) 적층된 커넥터와 터미널 이미지(2번 카메라)

그림 40: 적층된 커넥터와 터미널 이미지

그림 41: 캐니 모서리 검출기 적용된 커넥터와 터미널 이미지 56

(c) 캐니 모서리 검출기 적용된 커넥터와 터미널 이미지 (1번 카메라+2번 카메라)



(b) 캐니 모서리 검출기 적용된 커넥터와 터미널 이미지(2번 카메라)



(a) 캐니 모서리 검출기 적용된 커넥터와 터미널 이미지(1번 카메라)



## 제4장

# 실험 결과

## 4.1 다양한 필터 조합의 비교

이전 장에서 다양한 필터의 원리와 효과에 대한 실험을 각각의 필 터별로 진행하였는데, 이번 장에서는 다양한 필터 들의 조합을 적용하여 최적의 조합을 찾는 실험을 진행하였다. 원근 변환, 이웃 프레임 필터, 평 균값 필터, 가우시안 필터, 중간값 필터, 샤프닝 필터, 양방향 필터를 16 가지 조합[표 21]을 구성하여 필터 적용 전후의 평균 제곱 오차(MSE)를 측정하였다. 커넥터 평면 측정 시의 반복 정밀도를 측정하기 위해, 커넥터 의 표면상의 20개의 위치에서 15차례 측정된 높이 값의 평균 제곱 오차를 비교하였다. 또한, 손상이 없는 커넥터의 터미널 15개를 10회 반복하여 X, Y, Z 평면에서의 좌표값을 측정하고, 측정된 위치값의 필터 적용 전과 후의 평균 제곱 오차를 확인해보았다. 마지막으로 터미널의 휨이 발생한 커넥터에서도 터미널 위치 측정의 정확성을 시험하기 위하여 같은 실험을 반복하였다.

필터 종류	원근	이웃	평균	가우시안	중간값	샤프닝	양방향
조합 1	0	0	0	0	0	0	0
조합 2	0	0	Х	Х	Х	Х	Х
조합 3	0	Х	0	Х	Х	Х	Х
조합 4	Ο	Х	Х	0	Х	Х	Х
조합 5	Ο	Х	Х	Х	0	Х	Х
조합 6	Ο	Х	Х	Х	Х	0	Х
조합 7	0	Х	Х	Х	Х	Х	0
조합 8	0	Х	0	0	0	0	0
조합 9	0	Х	0	0	0	Х	0
조합 10	0	Х	0	0	0	Х	Х
조합 11	Ο	Х	Х	0	0	0	0
조합 12	0	Х	0	0	0	0	Х
조합 13	0	Х	0	0	Х	Х	Х
조합 14	Ο	Х	Ο	Х	0	Х	Х
조합 15	Ο	Х	Х	0	0	Х	Х
조합 16	Ο	0	Ο	0	0	Х	Х

표 21: 적용된 필터의 조합

'조합 1' 필터는 모든 필터를 적용하였을 때와 필터를 적용하지 않았 을 때의 비교를 위해 구성되었고, '조합 2' 필터부터 '조합 7' 필터는 각 각의 필터가 측정된 이미지 개선에 미치는 영향을 독립적으로 실험하기 위한 구성이다. 또한 '조합 8'부터 '조합 16'까지의 필터는 최상의 조합을 찾기 위하여 필터의 구성을 조금씩 달리하여 실험하였다.

## 4.2 커넥터의 평면 측정

커넥터의 평면상의 20개의 점에서 15번 반복 측정하여 측정된 높이 의 평균 제곱 오차를 최소로 하는 필터 조합을 찾아내고, 그 필터의 성능을 평가[표 22]하였다. 16가지 조합의 필터 중 '조합 10' 필터의 성능이 가장 뛰어난 것으로 측정되었다. '조합 10' 필터의 사용 시 필터 적용 전에 비해 최소 1.32배, 최대 23131.03배 평균 제곱 오차가 개선됨을 확인할 수 있었 다. 모든 측정 위치에서 '조합 10' 필터 적용 후 측정 오차가 감소[표 23] 하였다.

'조합 10' 필터에 사용된 원근 필터는 왜곡이 발생한 이미지를 직교좌 표계로 변환하기 위한 필수 필터이고, 평균 필터와 가우시안 필터, 중간값 필터는 노이즈를 감소시키는 필터이기 때문에 간헐적으로 노이즈가 발생 한 탭 터미널에서 노이즈를 감소시켜 측정 편차를 줄였다. 이웃 필터는 연속으로 촬영된 이미지를 직전 후 프레임의 형상을 현재의 프레임 영상 에 추이를 반영하는 필터인데, '조합 10' 필터와 '조합 16' 필터를 적용 시의 결과를 비교해보면, 0.05mm 간격으로 촬영된 이미지 사이의 유사 도가 낮아 현재 프레임에 발생한 노이즈를 억제하는 데는 비효율적임을 알 수 있다. 샤프닝 필터와 양방향 필터는 노이즈를 감소시키기 위한 여 러 필터가 선명도를 떨어뜨리는 특성이 있는데 선명도를 회복하기 위한 필터이다. '조합 8' 필터와 '조합 9' 필터, '조합 10' 필터, '조합 12' 필터 를 사용한 결과를 보면 샤프닝 필터와 양방향 필터는 위치 측정 시 반복 정밀도 개선에 도움이 없는 것으로 판명되었다.

59

표 22: 필터 적용 전과 후의 평균 제곱 오차 개선 비율 비교

평균 제곱 오차	최소	평균	최대
조합 1	0.97	4.57	11.09
조합 2	0.95	1.97	5.06
조합 3	1.20	2.68	10.94
조합 4	1.05	1.52	3.34
조합 5	1.08	3.10	18.79
조합 6	0.54	0.71	0.85
조합 7	0.82	0.99	1.32
조합 8	1.04	4.74	29.86
조합 9	1.37	90.12	1719.54
조합 10	1.32	1160.33	23131.03
조합 11	1.04	2.39	8.61
조합 12	1.29	3.87	16.87
조합 13	1.19	3.76	17.90
조합 14	1.36	3.79	15.75
조합 15	1.25	3.28	15.90
조합 16	1.14	4.86	11.36
표 23: 필터 적용 전과 후의 평균 제곱 오차 비교

측정 위치	필터 적용 전	'조합 10' 필터 조합 적용 후
1	0.014695	0.002387
2	0.012294	0.004812
3	0.013755	0.007228
4	0.011855	0.004832
5	0.012849	0.006970
6	0.013351	0.005777
7	0.012630	0.005777
8	0.008865	0.002426
9	0.005991	0.002962
10	0.022517	0.013945
11	0.024027	0.018138
12	0.009669	0.005178
13	0.008680	0.004642
14	0.017661	0.008875
15	0.016020	0.000716
16	0.010375	0.002733
17	0.015533	0.004145
18	0.012844	0.001462
19	0.008446	0.000000
20	0.006128	0.001949

### 4.3 커넥터의 정상 탭 터미널 측정

이번 실험에서는 커넥터의 정상 탭 터미널을 성능이 가장 우수하다 고 평가된 '조합 10' 필터를 이용하여 측정해보았다. '색션A'와 '색션B', ' 색션C'에 위치한 '탭 터미널 가'와 '탭 터미널 나', '탭 터미널 다' 15개를 10회 반복하여 측정하여 측정된 위치값을 취득였다. 아래[표 24]와 같이 15개의 탭 터미널 위치를 정확히 측정할 수 있었고, 계산된 평균 제곱 오차 [표 25]을 보았을 때, 반복 정밀도가 매우 높은 것을 확인할 수 있었다.

터미널 번호	Х	Y	Z
1번	22.8452	-9.9886	1.9418
2번	22.7997	-4.4441	1.8679
3번	22.9196	1.2213	1.6332
4번	22.8996	6.9611	2.0577
5번	22.8265	12.3839	2.3340
6번	38.9357	-14.1203	-2.7062
7번	38.8917	-10.3946	-2.6664
8번	38.9256	-1.5322	-2.7345
9번	38.9164	2.3234	-2.6341
10번	38.9457	11.1102	-2.4824
11번	38.9250	15.1673	-2.7945
12번	54.8526	-9.8589	1.5708
13번	54.8094	-2.7469	1.3681
14번	54.8906	4.2669	1.5177
15번	54.8184	11.3438	1.7863

표 24: 측정된 정상 탭 터미널 위치

표 25: 측정된 정상 탭 터미널 위치의 평균 제곱 오차

터미널 번호	Х	Y	Z
1번	0.000070	0.000011	0.000106
2번	0.000062	0.000011	0.000086
3번	0.000105	0.000002	0.000106
4번	0.000135	0.000004	0.000423
5번	0.000073	0.000003	0.000275
6번	0.000032	0.000008	0.000189
7번	0.000063	0.000003	0.000137
8번	0.000026	0.000012	0.000251
9번	0.000093	0.000029	0.000318
10번	0.000028	0.000010	0.000062
11번	0.000094	0.000006	0.000278
12번	0.000062	0.000002	0.000038
13번	0.000081	0.000003	0.000097
14번	0.000101	0.000004	0.000048
15번	0.000112	0.000021	0.000330

### 4.4 커넥터의 휜터미널 측정

커넥터의 휘어진 탭 터미널을 잘 검출할 수 있는지를 확인하기 위하 여 정상 탭 터미널과 같은 핀을 다양한 방향으로 휜 후 정상 탭 터미널을 측정했을 때와 같은 실험을 실시하였다. 15개의 휘어진 탭 터미널 들을 10회 반복 측정하여 측정된 위치값이 항상 일정하게 측정 되는지를 평균 표준 편차를 통하여 확인하였다. 측정된 휜 탭 터미널의 위치[표 26]가 측 정시마다 거의 차이가 없이 측정된 것[표 27]을 확인하였다.

터미널 번호	Х	Y	Z
1번	22.5435	-12.0172	1.1275
2번	22.9703	-3.4821	1.6757
3번	23.4603	1.8742	1.7316
4번	22.6724	7.3525	1.9061
5번	22.7312	11.2199	1.4650
6번	38.8496	-15.0248	-3.0939
7번	38.6801	-11.1322	-2.8044
8번	38.3839	-0.5431	-2.9338
9번	38.7831	1.5288	-2.9494
10번	38.9084	10.0314	-2.7929
11번	38.8356	13.1634	-3.1312
12번	54.8265	-8.6177	1.2622
13번	54.8856	-1.4550	1.2562
14번	54.8416	2.8518	1.4317
15번	54.9318	12.9210	1.1963

표 26: 측정된 휜 탭 터미널 위치

표 27: 측정된 휜 탭 터미널 위치의 평균 제곱 오차

터미널 번호	Х	Y	Z
1번	0.000012	0.000009	0.001236
2번	0.000019	0.000016	0.000444
3번	0.000049	0.000008	0.000253
4번	0.000133	0.000010	0.000099
5번	0.000059	0.000011	0.000165
6번	0.000008	0.000017	0.000032
7번	0.000057	0.000012	0.000167
8번	0.000040	0.000016	0.000057
9번	0.000078	0.000006	0.000491
10번	0.000021	0.000027	0.000052
11번	0.000002	0.000011	0.000157
12번	0.000059	0.000006	0.000012
13번	0.000018	0.000003	0.000166
14번	0.000045	0.000002	0.000051
15번	0.000031	0.000002	0.000022

### 제5장

## 결론

#### 5.1 연구 결과

보다 편리하고 안전한 자동차로 변모하기 위하여 차량에 수많은 전자 장비가 지속적으로 증가되는 흐름 속에서 각기의 장치가 정확하고 신뢰할 수 있는 연결을 확인하기 위한 형상 측정 기술이 본 연구를 통해 마련되었 다. 머신 비전 카메라와 레이저를 활용하여 수광 된 이미지를 광삼각법을 이용하여 한 섹션에서의 외형을 복원하고 이를 한 축 방향으로 누적하여 3차원의 외곽 형상을 복원할 수 있었다. 머신 비전 카메라에 취득된 이미 지의 형상은 렌즈에서 가까운 터미널과 먼 터미널 사이에 원근 왜곡이 발 생하지만 원근 변환을 통해 원래의 직교 좌표계로 복원하였다. 또한 머신 비전 카메라와 레이저의 노이즈에서 발생한 노이즈를 제거하고 감소시키 기 위하여 여러가지 필터를 시험해 보았다. 직전 후의 프레임에서 취득된 이미지의 노이즈를 프레임별 가중치를 연산하여 현재의 프레임 이미지를 보정하는 이웃 프레임 필터, 한 프레임 내에서 필터 크기만큼의 픽셀 값의 평균을 활용한 평균값 필터, 가우시안 필터, 중가값 필터를 실험해 보았 다. 노이즈 제거를 위해 사용된 필터들이 이미지를 뿌옇게 만드는 현생에 대한 대책으로 샤프닝 필터를 사용하여 모서리 값을 보정하였다. 양방향 필터를 통해 모서리 주변에서의 필터 적용을 억제하고 평면에서의 필터 작용을 최대화하여 변환된 이미지의 모서리 손실을 최소화하는 변환도 시 험되었다. 다양한 필터 들의 최적의 파라미터를 찾는 실험이 진행되었고,

여러 필터를 누적 사용한 필터 층이 적용되었다. 본 연구를 통해 실험한 여 러 필터 중 최상의 조합을 찾기 위한 실험을 통해 원근 필터와 평균 필터, 가우시안 필터, 중간값 필터를 조합하여 활용하였을 때, 높은 반복 정밀도 로 탭 터미널의 위치를 측정할 수 있음을 보여주었고, 커넥터 평면과 정상 탭 터미널, 휘어진 탭 터미널 모두 다양한 위치에서 매우 높은 해상도로 측정이 가능하였다. 탭 터미널 휨 검사기 측정된 3차원 데이터를 커넥터 고유의 설계 공차와의 차이를 계산함으로써 불량 판별이 가능하다. 3차 원 외형 취득을 위하여 필터 들을 통해 얻어진 이미지들을 X축 방향으로 적층하고 3차원 점들의 집합(3D Point Cloud)으로 추출하였고, 터미널의 외곽만을 선으로 표현하기 위한 캐니 모서리 검출기가 활용되었고 추출 된 선을 이용하여 핀의 영역과 커넥터 바닥 영역, 커넥터 벽 영역 등으로 세분화할 수 있다.

#### 5.2 후속 연구 과제

본 연구를 통해 차량 와이어 하네스 탭 터미널 형상을 측정하고 검 사할 수 있는 토대를 마련하였다. 본 연구에서는 형상 취득된 이미지를 다양한 필터를 통하여 취득된 이미지의 품질 개선을 확인하였지만, 여러 필터에 사용되는 변수에 따라 필터 수행 시간에 미치는 영향이 크다는 것 을 확인하였다. 커넥터 주변의 관심 영역만(ROI)을 연산하면 효과적으로 연산량을 줄일 수 있을 것이다. 관심 영역에서도 탭 터미널 주변 영역만을 수행한다면 불필요한 연산 시간을 줄일 수 있을 것으로 예상되는데 추가 실험을 통해 확인이 필요하다.

터미널의 위치는 3차원 점 좌표 들로 구성되어 있기 때문에 점들의 군집의 무게 중심을 판별하는 무게 중심 이동(Meanshift) 알고리즘을 활 용하여 핀의 위치를 판별하는 실험[12]이 필요하다.

본 실험에서는 레이저가 도달할 수 있는 각도가 광학적으로 고정되 어 있다. 음영을 해소하기 위하여 2개의 카메라를 설치하였는데 카메라의 숫자를 늘리거나 각도가 변화할 수 있도록 하거나 카메라 또는 레이저의 각도를 개별적으로 조정 가능하다면 사각 음역이 제거될 수 있다. 두 대의 카메라 중 한 대의 카메라에 음영이 생길 경우 캐니 모서리 검출기 적용 결 과가 터미널의 형상을 복잡하게 표현하는 경우를 유발하였다. 이와 같은 경우에 카메라와 레이저의 각도 가변 구조가 해결 방안으로 판단된다.

커넥터의 색상과 재질, 탭 터미널의 형상에 따라 반사도에 차이가 생기고 노이즈에 증감이 있을 것으로 예상되는데, 다양한 커넥터와 탭 터 미널을 시험하고 적절한 광학계 설정과 필터의 변수를 찾아야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] S. Hwang, *Computer Vision and Machine Learning with OpenCV4*. Gilbut, 2019.
- [2] W. Boehler and A. Marbs, "3d scanning instruments," *Proceedings of the CIPA WG*, vol. 6, no. 9, 2002.
- [3] A. Peiravi and B. Taabbodi, "A reliable 3d laser triangulation-based scanner with a new simple but accurate procedure for finding scanner parameters," *Journal of American Science*, vol. 6, no. 5, pp. 80–85, 2010.
- [4] J. G. D. França, M. A. Gazziro, A. N. Ide, and J. H. Saito, "A 3d scanning system based on laser triangulation and variable field of view," in *IEEE International Conference on Image Processing 2005*, vol. 1, pp. I–425, IEEE, 2005.
- [5] D. Yoon, *OpenCV4 programming using C and Python*. wikibooks, 2019.
- [6] R. Szeliski, *Computer vision: algorithms and applications*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [7] A. A. Tazehkandi, Hands-On Algorithms for Computer Vision: Learn how to use the best and most practical computer vision algorithms using OpenCV. Packt Publishing Ltd, 2018.
- [8] I. Cheon, *Digital Image Processing Using OpenCV*. infinitybooks, 2019.
- [9] S. Hwang, Visual C++ Image Processing Programming. Gilbut, 2015.
- [10] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," in *Sixth International Conference on Computer Vision (IEEE Cat. No.98CH36271)*, pp. 839–846, 1998.

- [11] J. Canny, "A computational approach to edge detection," *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, no. 6, pp. 679– 698, 1986.
- [12] J. Lee, OpenCV learning with Selected Example. bjpublic, 2020.

## Abstract

# A Study on the Position Inspection Technology of Vehicle Wire Harness Tab Terminal Based on Laser Camera Fusion

Jungho Kim Graduate School of Practical Engineering Seoul National University

Recently, automobile industry and academia have put toward self-driving vehicles that encompass the perception, judgment, and control of the environment around the vehicle along with the development of various sensor technologies. Automobiles, which used to be a collection of mechanical elements, are transforming into new types of vehicles through the combination of electronic and computer engineering.

In this autonomous driving technology, modules with huge data traffic, such as lidar, radar, and camera must operate organically in a state where reliability is secured to ensure the safety of vehicle occupants, nearby vehicles, and pedestrians operating based on this. In particular, incomplete wiring connections can cause fatal errors in advanced vehicle communication and control systems. For the systems, many modules are required for communication. There are various types of wiring and harness defects, such as incorrect wiring, short circuit, damage to the sheath, damage to connectors, less insertion of terminals, and bending. To ensure the reliability of individual products of the wiring and improvement of the inspection quality, this work proposed the three-dimensional measurement of the bending inspection of the vehicle wire harness tab terminal using a line laser and machine vision cameras.

Through real experiments, a line laser is irradiated on the connector's tab terminal and the processing of the optical system in the process of extracting the 3D shape from the image obtained using the machine vision camera, and the software processing to improve the data quality of the acquired images. The proposed method can suppress distortion and noise, and measure the desired pin shape and position.

This study made it possible to measure the shape of the tap terminal of a vehicle wire harness that could not be inspected before, and it is expected to be used in various industrial fields when it is necessary to measure the shape of automobile electric parts, appearance inspection, and other industries in the future.

Keywords : Tap Terminal, Bend Inspection, Vehicle Wire Harness Student Number : 2016-22202

72