

자율주행 환경에서의 핸드 제스처 기반 내추럴 유저 인터페이스 (NUI) 제안 및 사용자 경험 평가

Proposal and User Experience Evaluation of Hand Gesture-Based Natural User Interface (NUI) in Autonomous Driving Environments

김정민

Jungmin Kim

홍익대학교

Hongik University

dieste9502@g.hongik.ac.kr

이동운

Dongwoon Lee

홍익대학교

Hongik University

aiden7170@naver.com

김주성

Juseong Kim

홍익대학교

Hongik University

joe21cv@naver.com

차재훈

Jaehoon Cha

홍익대학교

Hongik University

chjhn1006@gmail.com

최성수

Seongsoo Choi

홍익대학교

Hongik University

accomplish2400@gmail.com

황석영

Seokyoung Hwang

홍익대학교

Hongik University

y0ung@g.hongik.ac.kr

박기철

Kicheol Pak

홍익대학교

Hongik University

hide@hongik.ac.kr

요약문

자율주행 기술이 레벨 4 및 5 단계로 고도화됨에 따라 자동차는 단순한 이동 수단에서 벗어나 업무와 휴식이 가능한 제 3의 생활 공간으로 확장되고 있다. 이러한 공간적 변화는 운전자의 개입을 최소화하는 새로운 인터페이스를 요구하지만, 기존의 터치스크린 및 물리적 버튼 방식은 운전자의 시각적 주의를 분산시키거나 특정 자세를 강요하는 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 자율주행 환경에서 직관적이고 자연스러운 상호작용이 가능한 핸드 제스처 기반의 내추럴 유저 인터페이스(NUI)를 제안한다. 이를 위해 3D 제스처 분류 체계를 분석하여 핵심 차량 제어 기능과 매핑하고, 사용자 경험(UX) 및 사용성 평가를 수행하였다. 연구 결과, 제스처 인터페이스는 기존 방식 대비 시각적 부하를 유의미하게 감소시켰으나, 반복 사용 시 신체적 피로도가 증가하는 상충 관계가 관찰되었다. 본 연구는 차세대 모빌리티 환경에서 탑승자의 안전과 편의성을 고려한 인터페이스 설계의 기초 자료를 제시하는 데 의의가 있다.

주제어

자연 사용자 인터페이스(NUI), 손 제스처 인식, 물리 사용자 인터페이스(PUI), 내추럴 매핑

1 서론

1.1 연구 배경

자율주행차 내부 구조의 변화는 기술 발전과 그 궤를 함께한다. [1]의 정의에 따르면, 자율주행 기술의 발전 단계 중 레벨 4 와 5 는 시스템이 운전자를 대신하여 모든 동적 운전 작업(Dynamic Driving Task, DDT)을 수행하는 완전 자동화 단계를 의미한다. 이

는 자동차의 구조적 개념 자체의 혁신을 촉발하고 있으며[2], 특히 전기차 기반의 평탄화된 하부 구조로 전환됨에 따라 실내 공간의 활용성을 극대화할 수 있는 설계 방법론이 대두되고 있다[3].

운전으로부터 해방된 탑승자들은 다양한 비주행 관련 활동(NDRAs)을 수행하게 되며[4], 이에 따라 실내 인테리어 디자인 또한 유동적으로 변화해야 한다[5]. 이러한 변화는 필연적으로 새로운 사용자 인터페이스 전략이 필요함을 시사한다[6].

표 1. 자율주행 컨셉카 인테리어 사례

차명	이미지	특징/움직이는것
LG Omnipod		전면 디스플레이, 터널 스크린, 시트, 스타일러, 슈케어, 로봇청소기
NIO Eve		스티어링 휠, 사이드 테이블, 발받침
Audi Urbansphere		시트, 스티어링 휠, IP(Instrument Panel)
Hyundai Ioniq Seven Concept		시트, 서랍, 유니버설 아일랜드(스마트 HUB, 슈케어), 미니냉장고, 컨트롤스틱

그러나 현재의 제어 방식들은 한계를 가진다. [7]에 따르면 고정된 디스플레이 위치는 접근성에 대한 불균형을 초래한다. 음성 인식 또한 물리적 입력 장치에 비해 즉각적인 반응성이 부족하며[8], 주행 중 발

생하는 배경 소음이 인식 정확도를 저하시키는 주요 변수이다[9].

이에 본 연구는 [10]의 관점에 따라 제스처 인터페이스에 주목한다. [11]은 카메라 시스템을 활용한 제스처 인식이 효과적인 제어 수단이 될 수 있음을 입증하였다. 하지만 기존 연구는 실용적 측면에 편중되어 있어 [12], 본 연구는 핸드 제스처(Hand Gesture)를 활용한 물리적 사용자 인터페이스(PUI) 시스템을 제안하고 그 효용성을 검증하고자 한다. 이는 소음이나 좌석 위치의 물리적 제약 없이 모든 탑승자에게 직관적인 제어 기회를 제공하는 데 그 목적이 있다.

1.2 연구 목표

본 연구는 자율주행차의 가변적 실내 환경에 최적화된 핸드 제스처 기반의 PUI 시스템을 제안하는 것을 주된 목적으로 한다. 구체적으로는 콘솔, 디스플레이, 에어벤트를 제어 대상으로 설정하고, 개발된 시스템의 사용자 경험을 쾌락적, 실용적, 신체적 차원에서 다각적으로 평가하여 그 효용성과 사용성을 실증적으로 규명하고자 한다.

2 선행연구

2.1 핸드 제스처 기반 물리적 사용자 인터페이스 (Hand Gesture Based PUI)

HCI(Human-Computer Interaction) 분야에서 핸드 제스처는 직관적인 입력 양식(Modality)으로서 차량 내 환경을 포함한 광범위한 도메인에서 연구되어 왔다. [13]은 문헌 고찰을 통해 다양한 제스처 유형과 그 적용 분야를 분석하였으며, [14]는 반복적 디자인(Iterative Design) 프로세스와 모범 사례를 통해 제스처 어휘(Gesture Vocabularies) 설계의 중요성을 강조하였다.

제스처 인터페이스의 효과적인 설계를 위해서는 명확한 분류 체계가 선행되어야 한다. [15]는 제스처의 기능과 의미에 따라 이를 다섯 가지 범주로 유형화하였다. 여기에는 대상을 가리키는 직시적(Deictic) 제스처, 객체를 직접 다루는 조작적(Manipulative) 제스처, 특정 의미나 명령을 전달하는 신호적(Semaphoric) 제스처, 발화와 함께 사용되어 의사소통을 돕는 몸짓적(Gesticulative) 제스처, 그리고 수화와 같이 체계적인 언어 구조를 갖춘 언어적(Linguistic) 제스처가 포함된다.

나아가 제스처를 구성하는 물리적 특징에 대한 분석도 이루어졌다. [16]은 시각적 해석을 위해 핸드 제스처를 정적(Static) 제스처와 동적(Dynamic) 제스처로 구분하는 기본 체계를 확립하였으며, [17]은 이를 3차원 공간에서 보다 구체화하여 손모양, 위치, 방향, 움직임의 네 가지 핵심 매개변수로 분해하는 접근법을 제안하였다. 이러한 분류와 매개변수적 접근은 단순한 자세나 움직임의 나열을 넘어, 복합적인 제

스처 어휘를 체계적으로 설계하고 분석할 수 있는 이론적 토대를 제공한다.

2.2 사용성 평가 방법론 (Usability Test Methodology)

제스처 기반 인터페이스는 전통적인 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)와는 다른 상호작용 특성을 가지므로, 이에 최적화된 다차원적 평가 방법론이 요구된다. [13]은 제스처 인터페이스 평가 시 시스템의 기술적 인식 정확도뿐 아니라 사용자 수용성과 인체공학적 요소를 통합적으로 고려해야 함을 역설하였다.

[14]의 분석에 따르면, 제스처 평가를 위한 프레임워크는 크게 상황적(Contextual), 인지적(Cognitive), 물리적(Physical) 차원으로 구분된다. 상황적 요소는 사용자 특성과 환경적 맥락, 사회적 수용성을 포괄하며, 인지적 요소는 사용자가 제스처를 쉽게 발견하고 학습할 수 있는지, 그리고 기존 지식을 활용한 직관성(Intuitiveness)과 다른 시스템으로의 전이가능성(Transferability)을 평가한다. 물리적 요소에서는 동작 수행에 따른 피로도도와 편안함, 효율성, 그리고 화면 가림과 같은 제약 사항이 주요 평가 기준으로 작용한다.

이러한 요소들을 정량적으로 측정하기 위해 표준화된 설문 도구가 널리 활용된다. [18]의 연구에 따르면, 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 사용자 경험을 측정하기 위해 UEQ(User Experience Questionnaire)와 AttrakDiff 등의 도구가 빈번히 사용된다. UEQ는 매력성(Attractiveness), 명확성(Perspicuity), 효율성(Efficiency), 정확성(Dependability), 자극성(Stimulation), 참신성(Novelty)의 6개 척도로 구성되며, 이를 통해 실용적 품질(Pragmatic Quality)과 쾌락적 품질(Hedonic Quality)을 구분하여 측정한다. 특히 UEQ-G와 같은 확장된 도구는 제품뿐 아니라 서비스 및 멀티모달 상호작용 전반을 포괄하는 종합적인 경험 평가를 가능하게 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 선행 연구들의 방법론을 준용하여 제스처 PUI의 유효성을 검증하고자 한다.

3 실험 설계

3.1 실험 환경

본 실험은 완전 자율주행(Level 5) 환경을 가정하여, 목적 프레임과 3D 프린팅을 활용한 Low-fidelity 프로토타입으로 실제 차량의 물리적 공간감을 모사하였다. 공간 레이아웃은 [그림 1]과 같이 콘솔, 디스플레이, 에어벤트로 구성되며, 카메라는 각 장치의 조작 특성에 최적화된 시점(탑, 사이드, 프런트 뷰)에 배치되었다.

하드웨어 구동 메커니즘은 [5]의 가이드라인을 반영하여 설계되었다. 콘솔은 전후 서지(Surge) 운동을, 디스플레이는 0도에서 90도까지의 피치(Pitch) 회

전을 수행하며, 공조장치는 방향 제어가 가능하도록 구현되었다.

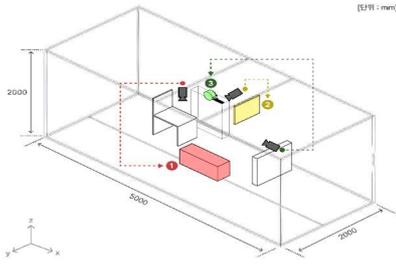


그림 1. NUI 실험공간 레이아웃

이를 제어하는 NUI 시스템은 [19]가 제안한 ZeroMQ 기반의 발행(Publisher)-구독(Subscriber) 패턴을 채택하여 지연 시간을 최소화하였다. 제스처 인식 모듈은 [그림 2]와 같이 MediaPipe Hands 를 활용해 랜드마크를 추적하며 [20], Pinch 와 Fist 기반의 상호작용 모드를 지원한다. 수집된 데이터는 좌표 정규화와 분류 과정을 거쳐 모터 제어 모듈로 전송되어 물리적 피드백을 생성한다.

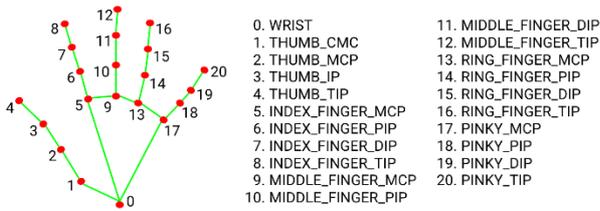


그림 2. MediaPipe Hands Framework

3.2 실험 방법

본 연구는 장치 유형(3 수준)과 제스처 매핑 전략(2 수준)을 독립 변수로 하는 3*2 혼합 요인 설계를 채택하였다. 내추럴 매핑(Natural Mapping) 조건은 장치의 물리적 특성을 반영하여 콘솔의 선형 조작, 디스플레이의 수직 이동, 에어벤트의 자유 이동 제스처를 각각 적용하였다. 반면 인덱스 매핑(Index Mapping)은 검지를 사용하는 단일화된 제스처를 대조군으로 설정하였다.

종속 변수로는 시스템 로그 기반의 정량적 운동학 데이터와 사용성 평가 설문 점수를 측정하였으며, 손잡이, 신장, 사전 경험 빈도를 조절 변수로 설정하였다.

본 연구에는 총 26명(남 10, 여 16)의 피험자가 참여하였으며, 평균 연령은 24.88 세로 나타났다. 참여자의 학문적 배경은 디자인 및 공학 계열로 구성되었고, 신체적 특성인 신장은 평균 165.98cm였으며 대다수가 오른손잡이(96.2%)였다. 차량 내 전동 편의 장치 사용 경험은 7점 리커트 척도 기준 평균 3.96 점을 기록하였는데, 이는 참여자 그룹이 다양한 수준의 사전 경험을 포괄하고 있음을 확인해 준다.

4 실험 결과

4.1 제스처 매핑 전략에 따른 비교 분석

편의 장치의 물리적 조작 특성을 반영한 Natural Mapping 과 단일화된 제스처를 적용한 Index Mapping 이 사용자 경험의 다차원적 요소(쾌락적·실용적 품질, 신체적 편안함)에 미치는 영향을 검증하였다. 데이터의 정규성을 확보한 후 대응 표본 t-검정(Paired t-test)을 실시하였으며, 그 결과는 [표 2, 3]와 같다.

표 2. Paired t-test Result

Device	Factor	Natural M (SD)	Index M (SD)	Mean Diff
Console	Overall	5.82 (0.74)	5.61 (0.97)	0.22
	Factor1	6.49 (0.50)	6.06 (1.01)	0.42
	Factor2	5.39 (1.02)	5.31 (1.17)	0.09
	Factor3	5.54 (1.61)	5.42 (1.58)	0.12
	Overall	5.47 (0.94)	5.73 (0.99)	-0.25
	Factor1	6.19 (0.92)	6.04 (1.14)	0.15
Display	Factor2	5.03 (1.09)	5.49 (1.21)	-0.46
	Factor3	5.08 (1.77)	5.73 (1.51)	-0.65
	Overall	5.26 (1.13)	5.39 (1.16)	-0.13
	Factor1	6.09 (1.06)	5.99 (1.26)	0.10
	Factor2	4.76 (1.39)	4.96 (1.35)	-0.20
	Factor3	4.81 (1.96)	5.31 (1.64)	-0.50
Air Vent	Overall	5.26 (1.13)	5.39 (1.16)	-0.13
	Factor1	6.09 (1.06)	5.99 (1.26)	0.10
	Factor2	4.76 (1.39)	4.96 (1.35)	-0.20
Factor3	4.81 (1.96)	5.31 (1.64)	-0.50	

표 3. Paired t-test Result (Continued)

Device	t (25)	p	Cohen's d	Sig
Console	1.26	.221	0.25	ns
	2.25	.034	0.44	*
	0.48	.637	0.09	ns
	0.32	.755	0.06	ns
	-1.40	.174	-0.27	ns
Display	0.62	.539	0.12	ns
	-2.20	.037	-0.43	*

	-2.27	.032	-0.45	*
	-0.64	.526	-0.13	ns
Air Vent	0.43	.669	0.08	ns
	-0.91	.370	-0.18	ns
	-2.11	.045	-0.41	*

분석 결과, 전체 통합 점수에서는 두 매핑 방식 간 통계적으로 유의미한 차이가 발견되지 않았다($p > .05$). 그러나 평가 요인별로 세분화하였을 때, 장치의 특성에 따른 상반된 선호 패턴이 관찰되었다.

우선 Console의 경우, Factor 1(쾌락적 품질 및 학습용이성)에서 Natural Mapping($M=6.49$)이 Index Mapping($M=6.06$)보다 유의하게 높은 평가를 받았다($t(25)=2.25, p=.034, d=0.44$). 이는 주먹을 쥐고 당기는 콘솔의 직관적 제스처가 단순 포인팅(Index) 방식보다 사용자에게 더 높은 감성적 만족과 학습의 편의를 제공함을 시사한다.

반면, Display와 Air Vent에서는 Factor 2(실용적 품질)와 Factor 3(신체적 편안함) 측면에서 Index Mapping이 우위를 보였다. 특히 Display의 경우 Index Mapping($M=5.49$)이 Natural Mapping($M=5.03$)보다 실용적 품질에서 유의하게 높게 평가되었으며($p=.037$), 신체적 편안함에서도 더 높은 점수를 기록하였다($p=.032$). Air Vent 역시 Index Mapping($M=5.31$)이 Natural Mapping($M=4.81$)보다 신체적 편안함 측면에서 유의한 우위를 보였다($p=.045$). 이는 디스플레이와 같이 정밀한 조작이 요구되거나 Air Vent와 같은 다차원적 제어가 필요한 장치에서는 통일되고 단순화된 제스처가 신체적 부하를 줄이고 효율성을 높이는 데 효과적임을 의미한다.

종합적으로, Natural Mapping과 Index Mapping은 전체적인 사용성 수준에서는 유사하나($N=78$ 통합 분석 시 $p > .05$), 감성적 몰입(Natural)과 신체적 효율(Index)이라는 상충되는 가치 사이에서 장치별 최적화가 필요함을 확인하였다.

4.2 편의 장치 유형에 따른 사용성 비교

차량 내 물리적 위치와 조작 특성이 상이한 세 가지 장치(Console, Display, Air Vent) 간의 사용성 차이를 규명하기 위해 반복측정 일원배치 분산분석(Repeated Measures One-way ANOVA)을 실시하였다[표 4, 5].

표 4. Repeated Measures ANOVA Results by Condition

Condition	Factor	Console M (SD)	Display M (SD)	Air Vent M (SD)
Combined	Overall	5.71 (0.75)	5.60 (0.84)	5.33 (1.03)

Condition	Factor	Mean (SD)		
		Console	Display	Air Vent
(N+I)	Factor1	6.28 (0.63)	6.12 (0.82)	6.04 (0.99)
	Factor2	5.35 (0.99)	5.26 (1.02)	4.86 (1.25)
	Factor3	5.48 (1.29)	5.40 (1.47)	5.06 (1.71)
Natural	Overall	5.82 (0.74)	5.47 (0.94)	5.26 (1.13)
	Factor1	6.49 (0.50)	6.19 (0.92)	6.09 (1.06)
	Factor2	5.39 (1.02)	5.03 (1.09)	4.76 (1.39)
Index	Factor3	5.54 (1.61)	5.08 (1.77)	4.81 (1.96)
	Overall	5.61 (0.97)	5.73 (0.99)	5.39 (1.16)
	Factor1	6.06 (1.01)	6.04 (1.14)	5.99 (1.26)
Index	Factor2	5.31 (1.17)	5.49 (1.21)	4.96 (1.35)
	Factor3	5.42 (1.58)	5.73 (1.51)	5.31 (1.64)

표 5. Repeated measures ANOVA Results by Condition (Continued)

Condition	F (2,50)	p	η^2	Sig
Combined (N+I)	4.28	.019	.034	*
	2.51	.091	.015	ns
	3.91	.026	.038	*
Natural	1.30	.282	.015	ns
	4.99	.011	.058	*
	3.59	.035	.038	*
Index	3.50	.038	.048	*
	2.09	.134	.029	ns
	2.79	.071	.018	ns
Index	0.24	.785	.001	ns
	3.20	.049	.031	*
	0.96	.390	.013	ns

분석 결과, Console이 전반적으로 가장 우수한 사용성을 보였으며, Air Vent가 상대적으로 가장 낮은 평가를 받았다. 통합 조건에서 Console($M=5.71$)은 Air Vent($M=5.33$) 대비 유의하게 높은 전체 점수를 기록하였으며($p=.017$), 이는 주로 Factor 2(실용적 품질)의 격차($p=.031$)에 기인하였다.

이러한 차이는 Natural Mapping 조건에서 더욱 극명하게 드러났다($F(2, 50)=4.99, p=.011$). Console은 1차원 선형 이동(Surge)이라는 단순성과 신체 중심

부에 근접한 위치적 이점으로 인해 높은 평가를 받은 반면, Air Vent 는 좌측 전방 B 필러라는 비대칭적 위치와 상하좌우(2-axis) 조작의 복잡성이 결합되어 사용성을 저하시키는 요인으로 작용하였다.

반면, Index Mapping 조건에서는 장치 간 전체 점수의 유의한 차이가 없었다($p=.071$). 이는 검지를 활용한 통일된 제스처가 각 장치의 물리적 위치나 조작 방식이 갖는 고유한 난이도 편차를 완화(Equalizing Effect)시켰음을 시사한다. 즉, Natural Mapping 은 장치의 물리적 제약을 부각시키는 경향이 있는 반면, Index Mapping 은 이를 상쇄하여 균일한 사용자 경험을 제공한다.

4.3 로그 데이터와 주관적 평가 간의 상관관계

마지막으로, 시스템이 기록한 객관적 수행 지표(Kinematic Metrics)가 사용자의 주관적 평가에 미치는 영향을 파악하기 위해 Pearson 상관분석을 실시하였다[표 6, 7].

표 6. Correlation between Log Data and Usability Scores (Overall)

Log Variable	Overall	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Total Distance	-.102	-.104	-.045	-.169*
Usage Time	-.223*	-.148	-.153	-.349***
Range Usage	-.249*	-.220**	-.218**	-.161*

표 7. Significant Correlations by Condition

Condition	Log_Variable	Score_Variable	r	p-value
I-C	usage_time_sec	Factor3_score	-0.496	0.010
N-C	range_usage	Factor2_score	-0.418	0.033
N-D	usage_time_sec	Factor3_score	-0.425	0.030

전체 156 회 시행을 종합 분석한 결과, 모든 유의한 상관관계는 부적(Negative) 관계를 나타냈다. 특히 Factor 3(신체적 편안함)은 객관적 지표와 가장 밀접한 연관성을 보였다. 사용 시간(Usage Time)이 길어질수록($r=-.349, p<.001$) 그리고 총 이동 거리가 증가할수록($r=-.169, p=.035$) 신체적 편안함에 대한 평가는 유의하게 낮아졌다. 또한, 가동 범위를 넓게 사용할수록 전체적인 사용성 점수가 하락하는 경향을 보였다($r=-.249, p=.002$). 이는 제스처 인터페이스

스 설계 시 효율성(Efficiency)이 곧 편안함(Comfort)으로 직결됨을 실증한다. 사용자가 최소한의 움직임과 짧은 시간 내에 과업을 완수할수록 시스템을 긍정적으로 평가하였으며, 불필요하게 큰 동작이나 지연된 조작은 주관적 만족도를 저해하는 요인으로 작용하였다. 조건별 분석에서도 Index Mapping-Console 및 Natural Mapping-Display 조건에서 사용 시간이 신체적 편안함과 강한 부적 상관관계를 보여 이러한 결론을 뒷받침한다.

5 결론

본 연구는 자율주행 레벨 4/5 환경에 적합한 핸드 제스처 NUI 를 제안하고 이를 실증적으로 평가하였다. 실험 결과, 제스처 인터페이스는 시선의 이동이나 물리적 접촉 없이 기능을 제어하게 함으로써 시각적 주의 분산을 줄이고 안전성 확보에 기여함을 확인하였다. 또한 직관적인 손동작 매핑은 조작 효율성과 사용자 만족도를 높이는 긍정적인 요인으로 작용하였다.

하지만 허공에서 팔을 유지해야 하는 신체적 피로도는 해결해야 할 과제로, 이는 제스처가 빈번한 조작보다는 간헐적이고 명확한 실행이 필요한 기능에 유리함을 시사한다. 결론적으로 제스처는 탑승자의 자유도를 높이는 유용한 도구이나 단일 방식으로는 한계가 있어, 향후 동작 반경 최소화나 음성 인식과의 결합을 통해 상호 보완적인 인터페이스로 발전되어야 할 것이다.

사사의 글

이 연구는 2026 년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(20023835).

참고 문헌

1. SAE International. Taxonomy and definitions for terms related to driving automation systems for on-road motor vehicles. SAE Standard J3016_202104. 2021.
2. Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B. and Winner, H. Effects of autonomous driving on the vehicle concept. In Autonomous Driving. Springer. pp. 213-232. 2016.
3. Frizziero, L., Galiè, G., Leon-Cardenas, C., De Santis, M., Losito, M. S. and Tomaiuolo, A. Design of a concept vehicle for future-oriented urban mobility using design-driven methodologies. Heliyon. 9(3). 2023.
4. Cai, Y., Anjani, S., Withey, D., Vledder, G., Song, Y. and Vink, P. Changes in Non-Driving-Related Activities from Conditional to Full Automation and Their Implications for

- Interior Design: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Applied Sciences*. 14(20). pp. 9442. 2024.
5. Kwon, J. Y. and Ju, D. Y. Spatial Components Guidelines in a Face-to-Face Seating Arrangement for Flexible Layout of Autonomous Vehicles. *Electronics*. 10(10). pp. 1178. 2021.
 6. Pfleging, B., Sadeghian, S. and Dey, D. User interfaces for automated vehicles. *it-Information Technology*. 63(2). pp. 73-75. 2021.
 7. Ma, J., Li, J., Wang, W., Huang, H., Zhang, X. and Zhao, J. Exploring the impact of the passenger's display on driver workload and driving performance. *Applied Ergonomics*. 114. pp. 104138. 2024.
 8. Rebman Jr, C. M., Aiken, M. W. and Cegielski, C. G. Speech recognition in the human-computer interface. *Information & Management*. 40(6). pp. 509-519. 2003.
 9. Sokol, N., Chen, E. Y. and Donmez, B. Voice-controlled in-vehicle systems: Effects of voice-recognition accuracy in the presence of background noise. In *Driving Assessment Conference (Vol. 9, No. 2017)*. University of Iowa. 2017.
 10. Liu, A. and Tan, H. Research on the trend of automotive user experience. In *International Conference on Human-Computer Interaction*. Cham: Springer International Publishing, pp. 180-201. 2022.
 11. Manawadu, U. E., Kamezaki, M., Ishikawa, M., Kawano, T. and Sugano, S. A hand gesture based driver-vehicle interface to control lateral and longitudinal motions of an autonomous vehicle. In *2016 IEEE international conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. IEEE, pp. 001785-001790. 2016.
 12. Detjen, H., Faltaous, S., Pfleging, B., Geisler, S. and Schneegass, S. How to increase automated vehicles' acceptance through in-vehicle interaction design: A review. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 37(4). pp. 308-330. 2021.
 13. Vuletic, T., Duffy, A., Hay, L., McTeague, C., Campbell, G. and Grealy, M. Systematic literature review of hand gestures used in human computer interaction interfaces. *International Journal of Human-Computer Studies*. 129. pp. 74-94. 2019.
 14. Xia, H., Glueck, M., Annett, M., Wang, M. and Wigdor, D. Iteratively designing gesture vocabularies: A survey and analysis of best practices in the HCI literature. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*. 29(4). pp. 1-54. 2022.
 15. Karam, M. A taxonomy of gestures in human computer interactions. University of Southampton. 2005.
 16. Pavlovic, V. I., Sharma, R. and Huang, T. S. Visual interpretation of hand gestures for human-computer interaction: A review. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 19(7). pp. 677-695. 1997.
 17. Choi, E., Kim, H. and Chung, M. K. A taxonomy and notation method for three-dimensional hand gestures. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 44(1). pp. 171-188. 2014.
 18. Díaz-Oreiro, I., López, G., Quesada, L. and Guerrero, L. A. UX evaluation with standardized questionnaires in ubiquitous computing and ambient intelligence: a systematic literature review. *Advances in Human-Computer Interaction*. 2021(1). pp. 5518722. 2021.
 19. Hintjens, P. *ZeroMQ: messaging for many applications*. O'Reilly Media, Inc. 2013.
 20. Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., Zhang, F., Chang, C., Yong, M., Lee, J., Chang, W., Hua, W., Georg, m., and Grundmann, M. *Mediapipe: A framework for building perception pipelines*. arXiv preprint. arXiv:1906.08172. 2019.