



연구개발계획서				<input type="checkbox"/> 신청용 <input checked="" type="checkbox"/> 협약용		보안등급					
				일반 <input checked="" type="checkbox"/> 보안 <input type="checkbox"/>							
중앙행정기관명	과학기술정보통신부			사업명	사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)					
전문기관명(해당 시 작성)	한국연구재단				내역사업명(해당 시 작성)	우수연구-신진연구/우수신진					
공고번호	제 2022-1015호			총괄연구개발 식별번호(해당 시 작성)							
				연구개발과제번호		RS-2023-00212828					
선정방식		정책지정 <input type="checkbox"/> 공모: 지정공모 <input type="checkbox"/> 품목공모 <input type="checkbox"/> 분야공모 <input type="checkbox"/> 자유공모 <input checked="" type="checkbox"/>									
기술분류	기초연구_평가전문분야(기초연구사업)	영상/그래픽스	100%		%			%			
	6T관련기술코드	가상현실 및 인공지능 응용기술	100%		%			%			
	국가과학기술표준분류_적용분야분류	전문, 과학 및 기술서비스업	60%	출판, 영상, 방송통신 및 정보서비스업	20%	예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업		20%			
	국가과학기술표준분류	비주얼커뮤니케이션	60%	인공지능	20%	의학물리		20%			
	국가전략기술 분류	가상제조	100%		%			%			
총괄연구개발명(해당 시 작성)		국문									
		영문									
연구개발과제명		국문	고충실도 디지털 휴먼을 위한 유체동학적 외관 재구성 기술 개발								
		영문	Facial Dynamic Appearance Reconstruction Towards High-Fidelity Digital-Human								
주관연구개발기관		기관명	서강대학교	사업자등록번호	1058204568						
		주소	(우)04107	법인등록번호	1142310000145						
연구책임자		성명	이주호	직위	조교수						
		연락처	직장전화	027058114	휴대전화	01083204385					
			전자우편	jhleecs@sogang.ac.kr	국가연구자번호	11214126					
연구개발기간	전체		2023-03-01 ~ 2026-02-28 (3년0개월)								
연구개발기간	단계(해당 시 작성)	0단계	1년차	2023-03-01 ~ 2024-02-29 (1년0개월)							
			2년차	2024-03-01 ~ 2025-02-28 (1년0개월)							
			3년차	2025-03-01 ~ 2026-02-28 (1년0개월)							
연구개발비(단위: 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
		현금	현물	지방자치단체	기타		현금	현물	합계		
총계	445,443	0	0	0	0	0	0	445,443	0	0	0
0단계	1년차	148,481	0	0	0	0	0	148,481	0	148,481	0
	2년차	148,481	0	0	0	0	0	148,481	0	148,481	0

0단계	3년차	148,481	0	0	0	0	0	0	148,481	0	148,481	0
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)			기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고		역할	기관유형	
연구개발과제 실무담당자			성명	이주호	직위	조교수	직장전화	027058114	휴대전화	01083204385		
			연락처	전자우편	jhleecs@sogang.ac.kr		국가연구자번호	11214126				

관련 법령 및 규정과 모든 의무사항을 준수하면서 이 연구개발과제를 성실하게 수행하기 위하여 연구개발계획서를 제출합니다. 아울러 이 연구개발계획서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 연구개발과제 선정 취소, 협약 해약 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022년 12월 12일

연구책임자:

이주호 (인)

주관연구개발기관의 장:

심종혁 (직인)

중앙행정기관의 장 귀하

2023-03-17 11:24:41 이주호

< 요약문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성합니다.

사업명		개인기초연구(과기정통부)(R&D)		총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)			
내역사업명 (해당 시 작성)		우수연구-신진연구/우수신진		연구개발과제번호		RS-2023-0021282 8	
기술 분류	기초연구_평가전 문분야(기초연구 사업)	영상/그래픽스	100 %		%		%
	6T관련기술코드	가상현실 및 인공지능 응 용기술	100 %		%		%
	국가과학기술표 준분류_적용분야 분류	전문, 과학 및 기술서비 스업	60 %	출판, 영상, 방송통신 및 정보서비스업	20 %	예술, 스포츠 및 여가관 련 서비스업	20%
	국가과학기술표 준분류	비주얼커뮤니케이션	60 %	인공지능	20 %	의학물리	20%
	국가전략기술 분 류	가상제조	100 %		%		%
총괄연구개발명 (해당 시 작성)							
연구개발과제명		고충실도 디지털 휴먼을 위한 유체동학적 외관 재구성 기술 개발					
전체 연구개발기간		2023-03-01 ~ 2026-02-28 (36개월)					
총 연구개발비		총 445,443천원 (정부지원연구개발비:445,443천원, 기관부담연구개발비:0천원, 지방자치단체지원연 구개발비:0천원, 그 외 지원연구개발비:0천원)					
연구개발단계		기초 <input type="checkbox"/> 응용 <input checked="" type="checkbox"/> 개발 <input type="checkbox"/> 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우) <input type="checkbox"/>		기술성숙도 (해당 시 작성)		착수시점 기준 () 종료시점 목표 ()	
연구개발과제 유형 (해당 시 작성)		연구개발과제성격: [연구개발]					
연구개발과제 특성 (해당 시 작성)		기술료 징수 구분: [징수]					

연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<p>연구과제의 활용방안</p> <ul style="list-style-type: none">□ 디지털휴먼의 동적 외관 재구성 핵심기술은 가상현실 속의 동적 외관 표현전달 기술을 향상□ 동적 외관 표현전달 향상은 확장현실에서도 실제처럼 동적 외관을 통한 감정전달 가능케 함□ 이는 휴먼 커뮤니케이션에서 AI-휴먼 커뮤니케이션으로 사업의 형태가 변화하는 디지털 과도기에 매우 필요한 핵심기술□ 사실적 감정 표현이 가능한 디지털 아바타 제작 (감성이 흐르는 디지털 공간)□ 감정노동 서비스를 위한 AI 디지털 휴먼 제작 (복지, 콜센터, 안내데스크) <p>연구과제의 기대효과</p> <ul style="list-style-type: none">□ 생동감 있는 동적 외관 전달로 메타버스 상의 사용자의 실감 및 몰입감을 한층 격상□ 본 연구를 통하여 감성있는 시각 디지털 휴먼 콘텐츠 제작의 노동집약적 요소를 줄여 그 소요시간을 줄임으로써 제작자가 보다 질적으로 우수한 콘텐츠를 제작할 수 있는 환경을 마련□ 현실과 가상공간의 휴먼-커뮤니케이션 차이를 없애 공간의 경계를 무너뜨림 → 진정한 메타버스 시대의 도래				
국문핵심어 (5개 이내)	디지털 휴먼	컴퓨터 그래픽스	동적역학	미분가능 시뮬레이션	
영문핵심어 (5개 이내)	digital human	computer graphics	dynamics	differentiable simulation	

2023-03-17 11:24:41 이주호

[별첨1. 연구계획서(연구내용) 파일 업로드 서식]

2023년도 신진연구(우수신진) 신규과제 연구계획서(연구내용)

과제명	국문	고충실도 디지털 휴먼을 위한 유체동학적(柔體動學) 외관 재구성 기술 개발
	영문	Facial Dynamic Appearance Reconstruction Towards High-Fidelity Digital-Human

- 획득한 영상 데이터로부터 표면 기하를 추정하고 표면의 움직임을 트래킹 기술을 개발한다. 트래킹의 경우 얼굴 표면에 시각적 마커를 생성하고 다중시점의 카메라로 촬영하여 해당마커의 3차원 위치를 트래킹한다. 표면 기하 추정을 통해 기하변형 정도를 얼굴 전체적으로 측정하며, 추적된 마커의 3차원 경로를 통해 몇 개의 특징점에서의 정확한 변형정도를 측정한다.

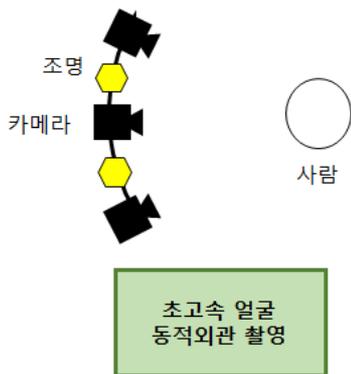


그림 1. 프로젝트 개요. 촬영시스템으로 표면의 변화 촬영 후 이를 미분가능 시뮬레이션 및 외관모델링을 통해 얼굴 성질 계산 및 재구성.

3) 연구기간 및 연구비 적정성

연구기간	연구기간은 3년으로 촬영시스템 제작 1년, 디지털 모델링 및 시뮬레이션 개발 1년, 그리고 회귀기술 개발 1년으로 적정함.	
연구비	1차년도	촬영시스템 개발로 영상촬영 관련 물품 구입에 비중을 높힘.
	2차년도	미분가능 시뮬레이션 시스템 개발을 위해서 서버구입에 비중을 높힘. 촬영 스케일 변화로 인한 추가 물품 구입여부 있음.
	3차년도	시뮬레이션&머신러닝을 이용한 변수예측 신경망 학습이 필요. 추가적인 컴퓨팅 장치 구입이 필요.

4. 연구자의 연구 수행역량

본 연구자는 카이스트 학사 학위과정을 마치고 카이스트 김민혁 교수님 지도하에 3차원 외관 복원에 대하여 연구, 석사, 박사 학위과정을 완료하였다. 본인은 컴퓨터 그래픽스의 최고 학술대회 SIGGRAPH 및 컴퓨터 비전 최고학회 CVPR에 다수의 논문을 발표하여 그 전문성을 입증하였다. 박사 학위 후 독일 막스프랑크 연구소 및 튀빙겐 대학에서 1년 반의 박사후과정을 수행하였고 현재 2021년 3월 이후부터 서강대 조교수로 후학양성에 힘쓰고 있다.

■ 3차원 물체의 기하 및 반사성질 복원

- SIGGRAPH ASIA 2018, Practical SVBRDF Acquisition of 3D Objects with Unstructured Flash Photography
- Proceeding to PAMI

■ 물체표면 반사성질 모델링

- SIGGRAPH ASIA 2018, Practical Multiple Scattering For Rough Surfaces

■ 실시간 3차원 기하 및 텍스처 복원

- CVPR 2020, TextureFusion: High-Quality Texture Acquisition for Real-Time RGB-D Scanning
- CVPR 2021, NormalFusion: Real-Time Acquisition of Surface Normals for High-Resolution RGB-D Scanning

5. 연구과제의 활용방안 및 기대효과

1) 연구과제의 활용방안

- 디지털휴먼의 동적 외관 재구성 핵심기술은 가상현실 속의 동적 외관 표현전달 기술을 향상
- 동적 외관 표현전달 향상은 확장현실에서도 실제처럼 동적 외관을 통한 **감정전달** 가능케 함
- 이는 휴먼 커뮤니케이션에서 AI-휴먼 커뮤니케이션으로 사업의 형태가 변화하는 **디지털 과도기**에 매우 필요한 핵심기술
- 사실적 **감정 표현이 가능한** 디지털 아바타 제작 (감성이 흐르는 디지털 공간)
- 감정노동 서비스를 위한 AI 디지털 휴먼 제작** (복지, 콜센터, 안내데스크)

2) 연구과제의 기대효과

- 생동감 있는 동적 외관 전달로 메타버스 상의 사용자의 **실감 및 몰입감을 한층 격상**
- 본 연구를 통하여 **감성있는 시각 디지털 휴먼 콘텐츠 제작의 노동집약적 요소를 줄여 그 소요시간을 줄임**으로써 제작자가 보다 **질적으로 우수한 콘텐츠를 제작할 수 있는 환경을 마련**
- 현실과 가상공간의 **휴먼-커뮤니케이션 차이를 없애** 공간의 경계를 무너뜨림 → 진정한 메타버스 시대의 도래

6. 기타 - 해당없음

7. 연구개발 안전 및 보안조치 이행계획

1) 안전조치 이행계획

1 기본 현황

1. 연구실 안전관리 부서 : 관리처 안전관리센터

2. 연구실안전환경관리자 지정 현황

구분	성명	연락처	주요 업무
전담	최성주	705-8999	교육, 보험 가입, 건강검진, 안전 예산, 연구실 사고 관리 등
겸임	김현식	705-8627	실험실 화재 예방 업무, 안전 점검 및 환경 개선 등
겸임	김달영	705-8647	실험실 지정폐기물, 규정 및 위원회, 산업안전, 중대재해

3. 연구활동종사자 현황

교수	학부생	대학원생	연구원	합계
120명	2,601명	560명	124명	3,405명

4. 연구실 운영 현황

구분		연구실 수	계
자연과학대학	물리학과	29개소	94개소
	화학과	31개소	
	생명과학과	34개소	
공과대학	전자공학과	33개소	125개소
	화공생명공학과	34개소	
	컴퓨터공학과	28개소	
	기계공학과	30개소	
산학협력단 등	산학협력단	63개소	63개소
합계			282개소

2 2022년 연구실 안전조치 이행 실적

1. 2022년도 연구실 정밀안전진단(2022년 5월 30일 ~ 2022년 6월 9일)

- 2. 연구실 안전관리규정 개정 (2022년 1월 25일)
- 3. 생물안전관리규정 개정 (2022년 1월 25일)
- 4. 연구실안전관리위원회 개최 (2022년 1월 13일)
- 5. 생물안전위원회 개최 (2022년 11월 23일)
- 6. 연구실 안점점검 실시
 - 가. 일상점검 : 1일 1회
 - 나. 정밀안전진단 : 2022년 5월 30일부터 6월 9일까지(7일간)

- 7. 연구실 안전교육
 - 가. 신규 교육
 - (1) 1학기: 2022년 4월 13일 ~ 2022년 4월 27일
 - (2) 2학기: 2022년 9월 14일 ~ 2022년 12월 1일
 - 나. 정기 교육
 - (1) 1학기: 2022년 4월 20일 ~ 2022년 6월 19일
 - (2) 2학기: 2022년 9월 14일 ~ 2022년 12월 21일

- 8. 생물안전교육
 - 가. 교육 기간: 2022년 7월 1일부터 9월 8일까지
 - 나. 교육 방법: 국가연구안전정보시스템 2시간 온라인교육

- 9. 보험가입
 - 가. 보험명: 연구활동종사자 상해보험(보험사: DB손해보험)
 - 나. 가입 기간 : 2022년 11월 1일 00시 ~ 2023년 10월 31일 24시

10. 연구활동종사자 건강검진

구분	검진 일자	검진 기관	대상자
상반기	6월 23일부터 6월 24일까지	대한산업보건협회	119명
하반기	11월 26일부터 12월 31일까지	KMI 한국의학연구소	332명

- 11. 연구실 안전환경 조성을 위한 환경 개선사항
 - 가. 연구실 유해인자 노출도 평가(2022년 7월 7일)
 - 나. 연구활동종사자 개인보호구 지급
 - 다. 가스용기 보관함(4대) 설치
 - 라. 가스누출감지경보장치(5개소) 설치
 - 마. 가스용기 전도방지장치 설치
 - 바. 리치과학관 등 층별 피난안내도 설치 공사
 - 사. 누수감지센서 20개 구입 및 설치
 - 아. 연구실 일상점검표 제작 및 비치

자. 정밀안전진단 개선 지원(연구실 공통사항)

- ① 바닥 전선 보호처리, 멀티콘센트 고정 부적합 건 몰드 구입 및 설치
- ② 연구실 산업안전보건표지 구입
- ③ 폐액용기 밀폐 마개 지급
- ④ 물질안전보건자료 게시대 설치
- ⑤ 감연부 및 감열부 탈락 감지기 수리 및 소화기 교체, 피난구 유도등 설치 및 교체
- ⑥ 기계공작실 등 연구활동종사자 정밀작업공간 적정조도 관리 개선
- ⑦ 위험기계 안전수칙 부착상태 점검 및 연구실 개인전열기 사용금지 조치 외

차. 리치과학관 외 바닥 피난유도선 육안점검 등

3 2023년 연구실 안전조치 이행 계획

1. 연구실 안전조치 이행사항 계획표

구분	세부항목	1학기						2학기						
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	
운영	연구실책임자, 연구실안전관리담당자 지정	●												
	연구실안전관리위원회 회의 개최											●		
	생물안전위원회 회의 개최										●			
교육 · 훈련	신규교육	●						●						
	정기교육	●	●	●	●			●	●	●	●			
	생물안전 교육	●						●						
	소방서 합동 화재대피 훈련								●					
점검	연구실 정밀안전진단			●										
	정밀안전진단 지적사항 후속조치							●	●	●	●			
	소방시설 정기점검	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
보험	연구실 안전공제 보험 갱신									●				
건강검진	연구활동종사자 건강검진				●					●				

2. 연구실 안전환경 조성을 위한 추가 이행계획

- 가. 연구실 안전관리규정 개정
- 나. 연구실 가스누설감지설비 정기점검
- 다. 연구실 압력용기 안전검사 실시
- 라. 연구실 출입문 안전표지 재정비, 사전유해인자위험분석 실시상태 점검
- 마. 연구실 안전 정기교육 기관 내 사이버캠퍼스 시스템 운영
- 바. 연구활동종사자 건강검진 수검률 향상방안 모색(출장검진 실시, 보상 등)

3) 그 밖의 조치사항 이행계획

IRB 심의를 거친후 Human scanning을 진행 예정

– 참고문헌(Reference)

1. Kozlov, Yeara, et al. "Enriching facial blendshape rigs with physical simulation." Computer

- Graphics Forum. Vol. 36. No. 2. 2017.
2. Lombardi, Stephen, et al. "Mixture of volumetric primitives for efficient neural rendering." *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 40.4 (2021): 1-13.
 3. Mildenhall, Ben, et al. "Nerf: Representing scenes as neural radiance fields for view synthesis." *Communications of the ACM* 65.1 (2021): 99-106.
 4. Fang, Zhixin, Libai Cai, and Gang Wang. "MetaHuman Creator The starting point of the metaverse." *2021 International Symposium on Computer Technology and Information Science (ISCTIS)*. IEEE, 2021.
 5. Nam, Giljoo, et al. "Practical svbrdf acquisition of 3d objects with unstructured flash photography." *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 37.6 (2018): 1-12.
 6. Lee, Joo Ho, et al. "Practical multiple scattering for rough surfaces." *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 37.6 (2018): 1-12.
 7. Lee, Joo Ho, et al. "Texturefusion: High-quality texture acquisition for real-time rgb-d scanning." *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2020.
 8. Ha, Hyunho, et al. "NormalFusion: Real-Time Acquisition of Surface Normals for High-Resolution RGB-D Scanning." *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2021.

2023년도 신진연구(우수신진) 신규과제 대표적 연구실적 요약문 및 증빙자료

과제명	국문	고충실도 디지털 휴먼을 위한 유체동학적(柔體動學) 외관 재구성 기술 개발
	영문	Facial Dynamic Appearance Reconstruction Towards High-Fidelity Digital-Human

< 대표적 연구실적 요약문 >

연구실적 제목	NormalFusion: Real-Time Acquisition of Surface Normals for High-Resolution RGB-D Scanning		신규과제 참여유형	연구책임자
연구실적 유형 (택 1)				
논문실적정보 <input type="checkbox"/>	게재지(저널명)		Impact Factor	
	ISSN		게재년월	
	역할(제1, 교신, 참여)		참여자수	
특허실적정보 <input type="checkbox"/>	구분		등록(출원) 국가	
	등록(출원) 번호		등록(출원)일	
	등록(출원)자 성명		발명자 성명	
기타실적정보 <input checked="" type="checkbox"/>	연구실적 유형	저서() 역서() 국제학회 초청강연() 학술지 편집위원 참여() 기술이전() 학술대회프로시딩(○) 기타()		
<p>CVPR 2021에 게재된 연구논문.</p> <p>1. 참여자의 역할 공동저자로 참여. 핵심 아이디어 토의, 실시간 텍스처 재구성 기본 프레임워크 구현 및 논문 작성.</p> <p>2. 초록 다중뷰 Structure from shading (SfS) 계산은 고미세한 기하를 획득할 수 있지만 다중뷰 포즈 계산 및 역렌더링 문제를 푸는데 있어 굉장한 계산량을 요구하기에 주로 오프라인 어플리케이션에 사용된다. 볼륨 기반 퓨전은 실시간 스캐닝을 가능케 하지만 SDF를 저장하는 격자 해상도와 깊이 에러에 의해 그해상도가 제한된다. 이번 연구에서는 우리는 실시간 볼륨 기반 퓨전과 다중뷰 SfS를 이음으로써 기하 디테일을 획득하는 실시간 스캐닝 방법을 제시한다. 먼저 우리는 기하 디테일을 얻고자 실시간으로 셰이딩 기반 법선을 획득하여 텍스처 스페이스에 저장한다. 우리는 또한 실시간 다중뷰 SfS를 계산하며, 텍스처와 획득된 기하 간의 매핑을 실시간으로 최적화하는 기하 기반 텍스처 매핑을 제안한다. 우리는 20 fps의 속도로 높은 기하 디테일 스캐닝이 가능함을 입증하였다. 결과들은 해당 방법으로 재구성된 기하가 오프라인 방법들의 결과들과 비교해서 밀리지 않음을 보였다.</p> <p>3. 기대성과 및 파급효과 또한 기존 텍스처 매핑과 달리 이미지의 기하 및 조명을 계산하기에 다른 조명에서의 외관 계산 및 표면반사성질 수정이 가능하여 보다 넓은 외관표현을 할수 있다. 따라서 구조물을 디자인할때 반사성질을 수정할 수 있어 디자이너들이 보다 용이하게 자신의 의도를 반영할수 있다.</p>				

연구실적 제목	TextureFusion: High-Quality Texture Acquisition for Real-Time RGB-D Scanning		신규과제 참여유형	연구책임자
연구실적 유형 (택 1)				
논문실적정보 <input type="checkbox"/>	게재지(저널명)		Impact Factor	
	ISSN		게재년월	
	역할(제1, 교신, 참여)		참여자수	
특허실적정보 <input type="checkbox"/>	구분		등록(출원) 국가	
	등록(출원) 번호		등록(출원)일	
	등록(출원)자 성명		발명자 성명	
기타실적정보 <input checked="" type="checkbox"/>	연구실적 유형	저서() 역서() 국제학회 초청강연() 학술지 편집위원 참여() 기술이전() 학술대회프로시딩(○) 기타()		

CVPR 2020 Oral에 게재된 연구논문. Best paper finalist에 선정.

1. 참여자의 역할

연구의 주책임자로서 연구의 핵심 아이디어 제안, 구현 및 모든 실험을 직접 진행하고 이에 관련 논문 작성함.

2. 초록

실시간 RGBD 스캐닝 기술은 물체를 모바일 센서를 이용한 물체 스캔에 주로 쓰인다. 기존 존재하는 실시간 기술은 복셀마다 칼라 정보를 저장하는데 이는 실시간 성능과 공간적 해상도 사이의 트레이드오프가 있으며 이는 3차원 재구성의 품질을 제한한다. 또한 이러한 방법들은 불러된 텍스처에 의해 그 품질이 저하된다. 기존 비강체 와핑 기반 오프라인 텍스처 매핑 방법들은 3차원 기하와 다중뷰 이미지들을 미리 주어진 긴시간 동안 텍스처 좌표 계산 및 와핑 변수들을 계산하는데 이는 실시간 어플리케이션에 적용할 수 없다. 이번 연구는 실시간 스캐닝을 위해 디자인된 텍스처 퓨전 방법을 제안한다. 이를 위해 낮은 해상도의 기하에 고해상도의 텍스처매핑을 가능케 하는, 텍스처 타일이 각 복셀에 할당되는 텍스처타일 복셀 그리드를 제안한다. 이는 특별한 메시 텍스처 좌표 계산없이 implicit 기하를 텍스처 좌표와 매핑한다. 두 번째로, 우리는 지역적 원근기반 매핑을 적용한 실시간 텍스처 와핑을 제안한다. 이로써 기하와 현재 뷰 사이의 매핑 오류를 효율적으로 완화한다. 이는 실시간으로 기하를 업데이트하며 텍스처의 퀄리티를 크게 향상시킨다. 뒤에서 보인 결과는 실시간 텍스처 매핑이 기존의 오프라인 방법과 비교했을때도 그성능이 저 지지않음을 보인다. 우리의 방법은 어떠한 RGBD 스캐닝 프레임워크에도 적용가능하다.

3. 기대성과 및 파급효과

해당 기술은 실시간 피드백을 요하는 어플리케이션에 최적화된 기술로서 사용자들이 별도의 작업 없이 바로 재구성된 기하 및 텍스처에 자신의 피드백을 남길 수 있는 큰 이점을 갖는다. 이는 순간적인 영감을 중요시하는 창작자들에게 중요한 요소이며 또한 기다림이 없다는 면에서 사용자들의 불편함을 최소화하고 기술진입 장벽을 크게 낮춘다. 해당 기술을 통해 사람과 디지털 콘텐츠 또한 사람과 사람사이의 소통을 원활히 하여 사용자가 나타내고자 하는 의미를 쉽게 투영한다. 이 기술은 증강현실, 가상현실, 유물 보존, 온라인 창작 작업 등에 기여할 수 있다.

연구실적 제목	Practical Multiple Scattering for Rough Surfaces		신규과제 참여유형	연구책임자
연구실적 유형 (택 1)				
논문실적정보 ■	게재지(저널명)	SIGGRAPH	Impact Factor	7.403
	ISSN	0730-0301	게재년월	201812
	역할(제1, 교신, 참여)	제1저자	참여자수	4명
특허실적정보 □	구분		등록(출원) 국가	
	등록(출원) 번호		등록(출원)일	
	등록(출원)자 성명		발명자 성명	
기타실적정보 □	연구실적 유형	저서() 역서() 국제학회 초청강연() 학술지 편집위원 참여() 기술이전() 학술대회프로시딩() 기타()		

1. 참여자의 역할

연구의 주책임자로서 연구의 핵심 아이디어 제안, 구현 및 모든 실험을 직접 진행하고 이에 관련 논문 작성함.

2. 초록

극소면 이론은 거친 표면에서의 광이동을 모델링한다. 극소면 이론에서 정반사는 각 극소면들에서 일어나는 거울 반사들의 결과물로 나타내어지며 다중반사는 무시되거나 중요도 샘플링을 이용해 모델링된다. 따라서 실질적이면서도 정확한 다중반사 시뮬레이션은 아직 주요과제로 남겨져있다. 이번 연구에서는 우리는 기존의 V흠 모델을 재탐구하였고 거친표면에서의 다중 반사를 표현하는 분석적이고 효율적인 솔루션을 도출하였다. 우리의 만화경 모델은 실제 및 가상의 V흠들로 구성되어 있으며 이는 극소면 사이의 반사를 분석적으로 계산할수 있게 한다. 우리는 이모델을 비대칭 흠으로 확장하였으며 이는 보다 표면 기하에 대해 높은 자유도를 제공하고 표면에 비스듬히 입사한 빛들의 다중반사를 기존 법선분포함수와 호환하여 향상시킨다. 우리는 우리의 모델을 실제 몬테카를로 시뮬레이션과 비교하여 제안된 모델의 정확도를 입증하였으며 텍스처된 물질 및 비등방성 물질에 대해서도 적용가능함을 보였다. 우리 모델은 분석적이며, 어떠한 계산적 비용과 분산을 야기하지 않으며, 기존 파이프라인에 자연스럽게 통합되고, 에너지 보존과 상호성을 보장하며, 양방향 렌더링 방법들과 호환된다.

3. 기대성과 및 파급효과

제안된 기하 기반 다중반사 모델은 기존 에너지 기반 다중반사 모델에 비해 물리이론적이며, 단반사만 고려했던 기존 표면반사모델 연구에서 다중반사를 고려한 표면반사 모델 연구로 가는 교두보 역할을 한다. 이는 보다 사실적인 표면 외관을 재현할 수 있도록하며 이는 자동차, 부엌 용품, 가구 등의 사실적 물체 외관 렌더링의 향상에 기여한다.

연구실적 제목	Practical SVBRDF Acquisition of 3D Objects with Unstructured Flash Photography		신규과제 참여유형	연구책임자
연구실적 유형 (택 1)				
논문실적정보 ■	게재지(저널명)	SIGGRAPH	Impact Factor	7.403
	ISSN	0730-0301	게재년월	201812
	역할(제1, 교신, 참여)	제1저자	참여자수	5명
특허실적정보 □	구분		등록(출원) 국가	
	등록(출원) 번호		등록(출원)일	
	등록(출원)자 성명		발명자 성명	
기타실적정보 □	연구실적 유형	저서() 역서() 국제학회 초청강연() 학술지 편집위원 참여() 기술이전() 학술대회프로시딩() 기타()		
<p>1. 참여자의 역할</p> <p>논문의 공동저자. 3차원 초기 기하 프로세싱 구현 및 최적화 시스템 설계 및 부분 구현. 1차원 다중변수 BRDF 모델링 및 기존 BRDF 데이터셋을 활용한 BRDF 재구성 정확도 테스트 실행.</p> <p>2. 초록</p> <p>하나의 카메라를 이용하여 3차원 물체의 표면 외관을 획득하는 것은 매우 어려운 문제이다. 기존의 연구들은 평면기하로 국한되거나 미리 스캔한 3차원 기하에 의존하며 이는 현실성이 떨어진다. 이 문제를 위해 다음의 기술적 문제들이 있다. 첫째로 플래시가 렌즈와 거의 같은 위치에 고정되어 있다. 이는 광방향 공간의 샘플링에 큰 방해가 된다. 게다가, 근거리 플래시는 부분적이며 분포가 일정치 않다. 기존의 스테레오 기술은 난반사 가정으로 기하를 유추하기에 표면이 보다 반드러운 경향이 있다. 우리는 간단하면서도 효과적인, 어떠한 고비용 하드웨어가 필요없는, 플래시 기반의 카메라를 이용한 3차원 물체 기하 및 표면 외관정보를 획득하는 실질적인 프레임워크를 제안한다. 여기에 더하여, 우리는 난반사 모델 대신 SVBRDF 정보를 이용함으로써 기존 다중뷰 스테레오 기법에 비해 고주파수의 기하 디테일을 포함한 고품질의 3차원 기하를 출력한다. 우리는 SVBRDF, 법선, 3차원 기하의 공동 재구성을 다중단계의 반복적 역렌더링 재구성 파이프라인으로 구성하였다. 우리 방법은 기존의 다중뷰 3차원 재구성 기법에 적용가능하다. 우리는 복잡한 기하와 반사정보를 갖는 물체의 재구성 결과를 보였다. 우리는 또한 기존의 방법들과 수치적으로 비교하여 제안된 방법의 성능 및 유효성을 입증하였다.</p> <p>3. 기대성과 및 파급효과</p> <p>해당 연구는 사용자들이 간단히 본인의 핸드폰 카메라로 물체를 촬영함으로써 3차원 물체의 디지털 복제를 가능케 한다. 이는 증강현실, 가상현실 등의 여러 그래픽 어플리케이션에서 현실과 가상 공간간의 시각적 소통을 보다 원활히 하여 사용자간의 정보전달을 보다 정확히 한다. 이는 교육, 산업, 엔터테인먼트 등 넓은 분야에 걸쳐 그영향력을 발휘한다.</p>				

CVPR 2021

NormalFusion: Real-Time Acquisition of Surface Normals for High-Resolution RGB-D Scanning

Hyunho Ha[†] Joo Ho Lee^{*} Andreas Meuleman[†] Min H. Kim[†]

[†] KAIST

^{*} University of Tuebingen

Abstract

Multiview shape-from-shading (SfS) has achieved high-detail geometry, but its computation is expensive for solving a multiview registration and an ill-posed inverse rendering problem. Therefore, it has been mainly used for offline methods. Volumetric fusion enables real-time scanning using a conventional RGB-D camera, but its geometry resolution has been limited by the grid resolution of the volumetric distance field and depth registration errors. In this paper, we propose a real-time scanning method that can acquire high-detail geometry by bridging volumetric fusion and multiview SfS in two steps. First, we propose the first real-time acquisition of photometric normals stored in texture space to achieve high-detail geometry. We also introduce geometry-aware texture mapping, which progressively refines geometric registration between the texture space and the volumetric distance field by means of normal texture, achieving real-time multiview SfS. We demonstrate our scanning of high-detail geometry using an RGB-D camera at ~ 20 fps. Results verify that the geometry quality of our method is strongly competitive with that of offline multiview SfS methods.

1. Introduction

Shape-from-shading (SfS) has been commonly used to enhance geometric details in 3D scanning. When surface reflectance and illumination are known, SfS factorizes reflected irradiance of camera signals to photometric normals in the camera's resolution [12]. When a high-resolution camera is used, the geometry quality can be improved significantly by combining base geometry and normals [21]. However, when reflectance and illumination are unavailable, SfS becomes a very ill-posed problem. *Multiview SfS* estimates distributions of illumination and albedo by leveraging multiview input [1, 10] and then obtains high-detail normals from shading. The geometry quality of these multiview SfS methods is significantly higher than that of real-time scanning methods using a conventional RGB-D cam-

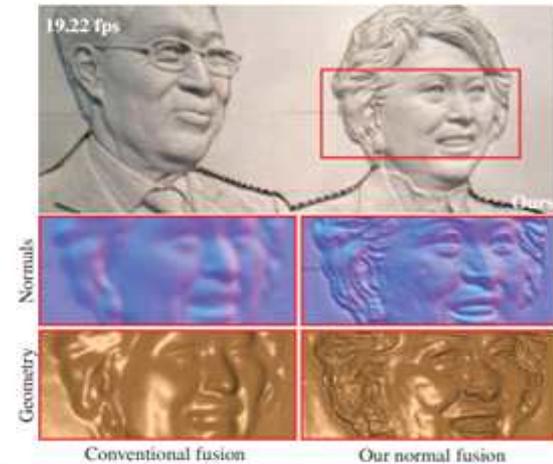


Figure 1: Result of our real-time normal fusion method, compared with the conventional fusion method that accumulates TSDFs of depth maps in the canonical space. We decompose camera signals to photometric normals and accumulate them in texture space associated with voxel grids of TSDFs, enabling high-resolution geometry in real-time. Refer to the supplemental video for real-time demo.

era. However, when a camera is unstructured and scenes are uncontrolled, multiview SfS becomes highly underdetermined; therefore, the ill-posed multiview SfS problem needs to be solved by expensive non-linear optimization with strong assumptions of scene and lighting conditions [29, 28] in addition to multiview registration.

Despite the strong benefits of multiview SfS to high-resolution geometry, it has been hardly achieved in real-time RGB-D scanning due to several challenges. First, multiview color and depth frames need to be registered by iterative closest point (ICP) [26] in general. However, perfect geometric registration by ICP is theoretically impossible with real systems due to noise in depth frames. It results in blurry reconstruction [18].

Second, to handle noise and inaccurate registration of depth information, the truncated signed distance function

CVPR 2020 ORAL (Best paper finalist)

TextureFusion: High-Quality Texture Acquisition for Real-Time RGB-D Scanning

Joo Ho Lee^{*1}

Hyunho Ha¹

Yue Dong²

Xin Tong²

Min H. Kim¹

¹KAIST

²Microsoft Research Asia

Abstract

Real-time RGB-D scanning technique has become widely used to progressively scan objects with a hand-held sensor. Existing online methods restore color information per voxel, and thus their quality is often limited by the trade-off between spatial resolution and time performance. Also, such methods often suffer from blurred artifacts in the captured texture. Traditional offline texture mapping methods with non-rigid warping assume that the reconstructed geometry and all input views are obtained in advance, and the optimization takes a long time to compute mesh parameterization and warp parameters, which prevents them from being used in real-time applications. In this work, we propose a progressive texture-fusion method specially designed for real-time RGB-D scanning. To this end, we first devise a novel texture-tile voxel grid, where texture tiles are embedded in the voxel grid of the signed distance function, allowing for high-resolution texture mapping on the low-resolution geometry volume. Instead of using expensive mesh parameterization, we associate vertices of implicit geometry directly with texture coordinates. Second, we introduce real-time texture warping that applies a spatially-varying perspective mapping to input images so that texture warping efficiently mitigates the mismatch between the intermediate geometry and the current input view. It allows us to enhance the quality of texture over time while updating the geometry in real-time. The results demonstrate that the quality of our real-time texture mapping is highly competitive to that of exhaustive offline texture warping methods. Our method is also capable of being integrated into existing RGB-D scanning frameworks.

1. Introduction

Real-time RGB-D 3D scanning has become widely used to progressively scan objects or scenes with a hand-held RGB-D camera, such as Kinect. The depth stream from the

^{*}Part of work was done during an internship in MSRA.

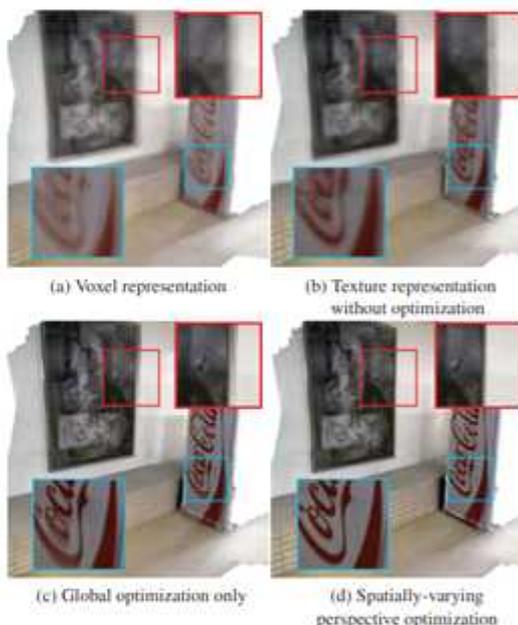


Figure 1: We compare per-voxel color representation (a) with conventional texture representation without optimization (b). Compared with global optimization only (c), our texture fusion (d) can achieve high-quality color texture in real-time RGB-D scanning. Refer to the supplemental video for a real-time demo.

camera is used to determine the camera pose and is accumulated to a voxel grid that contains surface distance. The truncated depth values in the grid become a surface representation through a marching cube algorithm [24]. The color stream, in general, is accumulated to the voxel to scan color representation in a similar manner that captures depth. However, the current color representation in real-time RGB-D scanning remains suboptimal due to the following challenges: first, since the color information is stored in each voxel in the grid, there is an inevitable tradeoff between spatial resolution and time performance [6, 13, 25, 24]. For instance, when we decrease the spatial resolution of the grid

Practical Multiple Scattering for Rough Surfaces

JOO HO LEE, KAIST
 ADRIAN JARABO, Universidad de Zaragoza, I3A
 DANIEL S. JEON, KAIST
 DIEGO GUTIERREZ, Universidad de Zaragoza, I3A
 MIN H. KIM, KAIST



Fig. 1. Three different objects made of rough conductors (gold, silver, and copper), with spatially-varying roughness specified by a texture, rendered with the Cook-Torrance model (left) and our multiple-scattering-aware microfacet model (middle). Cook-Torrance assumes single scattering, which results in significant energy losses, especially for rough surfaces, as shown in the difference image (right). Our model accounts for multiple scattering in a closed-form analytical way, therefore conserving energy, with a small overhead, and without the need for costly stochastic light transport simulations.

Microfacet theory concisely models light transport over rough surfaces. Specular reflection is the result of single mirror reflections on each facet, while exact computation of multiple scattering is either neglected, or modeled using costly importance sampling techniques. Practical but accurate simulation of multiple scattering in microfacet theory thus remains an open challenge. In this work, we revisit the traditional V-groove cavity model and derive an analytical, cost-effective solution for multiple scattering in rough surfaces. Our *kaleidoscopic* model is made up of both real and virtual V-grooves, and allows us to calculate higher-order scattering in the microfacets in an analytical fashion. We then extend our model to include nonsymmetric grooves, allowing for additional degrees of freedom on the surface geometry, improving multiple reflections at grazing angles with backward compatibility to traditional normal distribution functions. We validate the accuracy of our model against ground-truth Monte Carlo simulations, and demonstrate its flexibility on anisotropic and textured materials. Our model is analytical, does not introduce significant cost and variance, can be seamlessly integrated in any rendering engine, preserves reciprocity and energy conservation, and is suitable for bidirectional methods.

CCS Concepts: • Computing methodologies → Reflectance modeling

Additional Key Words and Phrases: microfacets, multiple scattering

Authors' addresses: Joo Ho Lee, KAIST, School of Computing, Daejeon, South Korea, 34141, jhlee@vclab.kaist.ac.kr; Adrian Jarabo, Universidad de Zaragoza, I3A, Zaragoza, Spain, 50018, ajarabo@unizar.es; Daniel S. Jeon, KAIST, School of Computing, Daejeon, South Korea, 34141, dsjeon@vclab.kaist.ac.kr; Diego Gutierrez, Universidad de Zaragoza, I3A, Zaragoza, Spain, 50018, diegog@unizar.es; Min H. Kim, KAIST, School of Computing, Daejeon, South Korea, 34141, minhkim@kaist.ac.kr (corresponding author).

© 2018 Association for Computing Machinery.
 This is the author's version of the work. It is posted here for your personal use. Not for redistribution. The definitive Version of Record was published in *ACM Transactions on Graphics*, <https://doi.org/10.1145/3272127.3275016>.

ACM Reference Format:

Joo Ho Lee, Adrian Jarabo, Daniel S. Jeon, Diego Gutierrez, and Min H. Kim. 2018. Practical Multiple Scattering for Rough Surfaces. *ACM Trans. Graph.* 37, 6, Article 275 (November 2018), 12 pages. <https://doi.org/10.1145/3272127.3275016>

1 INTRODUCTION

Microfacet theory [Beckmann and Spizzichino 1963; Torrance and Sparrow 1967] is one of the cornerstones of appearance modeling of real-world objects. At the macroscopic level, the theory postulates that the reflectance field at a surface point is the result of light reflections off several microscale specular facets with random orientations, defined by a statistical distribution function.

At the core of microfacet theory lies the assumption that light scatters on the microsurface only once (blue rays in Figure 2). This is adequate, since it simplifies the computations. Unfortunately, it introduces energy loss, since multiple scattering inside the microsurface is ignored (red rays). A common approach to compensate this is to introduce a Lambertian term that, under the assumption that multiple scattering inside the microsurface is diffuse, empirically brings back the lost energy.

This in essence introduces a strong assumption: Microfacets, which are defined as perfectly specular, reflect light diffusely after the first bounce. Therefore, they present two different types of

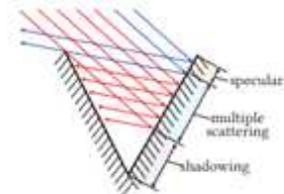


Fig. 2. Scattering in a V-groove cavity.

Practical SVBRDF Acquisition of 3D Objects with Unstructured Flash Photography

GILJOO NAM and JOO HO LEE, KAIST
 DIEGO GUTIERREZ, Universidad de Zaragoza, I3A
 MIN H. KIM, KAIST



Fig. 1. We propose a practical method that enables us to capture spatially-varying BRDFs from *unstructured flash photographs*. It yields high-quality SVBRDFs, as well as detailed geometry of 3D objects, without relying on any expensive supporting hardware nor controlled illumination, using instead any hand-held conventional digital camera with a built-in flash. No input geometry is needed in our algorithm. Image (a) shows our acquisition setup, while (b) – (e) show example results of our reconstructions.

Capturing spatially-varying bidirectional reflectance distribution functions (SVBRDFs) of 3D objects with just a single, hand-held camera (such as an off-the-shelf smartphone or a DSLR camera) is a difficult, open problem. Previous works are either limited to planar geometry, or rely on previously scanned 3D geometry, thus limiting their practicality. There are several technical challenges that need to be overcome: First, the built-in flash of a camera is almost collocated with the lens, and at a fixed position; this severely hampers sampling procedures in the light-view space. Moreover, the near-field flash lights the object partially and unevenly. In terms of geometry, existing multiview stereo techniques assume diffuse reflectance only, which leads to overly smoothed 3D reconstructions, as we show in this paper. We present a simple yet powerful framework that removes the need for expensive, dedicated hardware, enabling practical acquisition of SVBRDF information from real-world, 3D objects with a single, off-the-shelf camera with a built-in flash. In addition, by removing the diffuse reflection assumption and leveraging instead such SVBRDF information, our method outputs high-quality 3D geometry reconstructions, including more accurate high-frequency details than state-of-the-art multiview stereo techniques. We formulate the joint reconstruction of SVBRDFs, shading normals, and 3D geometry as a multi-stage, iterative inverse-rendering reconstruction pipeline. Our method is also directly applicable to any existing multiview 3D reconstruction technique. We present results of captured objects with complex geometry and reflectance; we also validate our method numerically against other existing approaches that rely on dedicated hardware, additional sources of information, or both.

Authors' addresses: Giljoo Nam, Joo Ho Lee, KAIST, School of Computing, Daejeon, South Korea, 34141; Diego Gutierrez, Universidad de Zaragoza, I3A, Zaragoza, Spain, 50018; Min H. Kim, KAIST, School of Computing, Daejeon, South Korea, 34141; minhkim@kaist.ac.kr (corresponding author).

© 2018 Association for Computing Machinery.
 This is the author's version of the work. It is posted here for your personal use. Not for redistribution. The definitive Version of Record was published in *ACM Transactions on Graphics*, <https://doi.org/10.1145/3272127.3275017>.

CCS Concepts: • **Computing methodologies** → **Reflectance modeling**; **Computational photography**.

Additional Key Words and Phrases: SVBRDF acquisition, computational photography

ACM Reference Format:

Giljoo Nam, Joo Ho Lee, Diego Gutierrez, and Min H. Kim. 2018. Practical SVBRDF Acquisition of 3D Objects with Unstructured Flash Photography. *ACM Trans. Graph.* 37, 6, Article 267 (November 2018). 12 pages. <https://doi.org/10.1145/3272127.3275017>

1 INTRODUCTION

Acquiring and reproducing the appearance of real-world objects is one of the main goals of computer graphics. Many different advances have been presented recently, from methods relying on specialized hardware (e.g., [Ghosh et al. 2008; Holroyd et al. 2010; Nam et al. 2016; Schwartz et al. 2013; Tunwattanapong et al. 2013]), to mobile setups (e.g., [Aittala et al. 2015; Hui et al. 2017; Riviere et al. 2015, 2017]). However, there is an inevitable tradeoff between the capabilities of these methods and their cost. For instance, while mobile methods are cheap but limited to *near-planar* geometries, prices for professional acquisition systems, such as Otoy LightStage, X-Rite TAC7 and Lumio3D, start at \$200,000.

Despite the obvious practical advantages of simpler acquisition setups, capturing the SVBRDFs of a full, nonplanar 3D object with an off-the-shelf camera, such as a smartphone camera, has not yet been demonstrated, due to its technical challenges. First, capturing SVBRDF information requires carefully controlled, dense sampling of the light-view space; this is usually achieved with professional supporting structures, such as light domes, or four-dimensional gantries. Since the built-in flash of a conventional camera is almost collocated with the lens, this leads to a severely limited sampling of