

2D증명사진기반 3D아바타 페이스 변환방법에 대한 연구

이병권

서원대학교 미디어콘텐츠학부 교수

Study on 3D Avatar Face Conversion Method Based on 2D ID Photo

Kwon-Byong Lee

Professor, School of media contents, Seowon University, Chungbuk, Korea

요약 본 연구는 2차원 증명사진을 기반으로 3차원 아바타의 얼굴을 실시간으로 교체하는 기술을 제안한다. 3D 저작 도구인 블렌더를 활용하여 기존 아바타의 얼굴 메쉬를 2차원 이미지의 특징점과 매핑하고, 얼굴 표정 변형에 따른 자연스러운 변화를 구현하기 위해 리깅(rigging) 작업을 수행한다. 이후 FBX 형식으로 모델을 export하여 유니티 게임 엔진으로 가져와 실시간 렌더링 환경을 구축한다. 특히, 얼굴 피부의 질감과 색상을 정확하게 표현하기 위해 머터리얼 매칭 기법을 적용하여 현실감 있는 아바타를 생성한다. 본 연구는 이미지 생성 모델과의 연동을 통해 더욱 다양한 얼굴 특징을 가진 아바타 생성 가능성을 제시하며, 메타버스 환경에서의 개인 맞춤형 아바타 생성 기술의 발전에 기여할 것으로 기대된다.

주제어 : 2D-3D 얼굴 변환, 아바타생성, 얼굴교체, 딥러닝, 블렌더유니티

Abstract This research proposes a technique for real-time face replacement of a 3D avatar based on a 2D profile picture. By utilizing Blender, a 3D authoring tool, we map the facial mesh of an existing avatar to the feature points of a 2D image and perform rigging to implement natural changes according to facial expression variations. Afterward, the model is exported in FBX format and imported into the Unity game engine to establish a real-time rendering environment. Particularly, we apply a material matching technique to accurately represent the texture and color of the facial skin, resulting in a realistic avatar. This research suggests the possibility of generating avatars with a wider variety of facial features through integration with image generation models and is expected to contribute to the advancement of personalized avatar generation technology in metaverse environments.

Key Words : 2D-to-3D face conversion, Avatar generation, Face swapping, Deep learning, Blender, Unity

*Corresponding Author : Byong-Kwon Lee(sonic747@daum.net)

Received November 22, 2024

Accepted December 20, 2024

Revised November 26, 2024

Published December 28, 2024

1. 서론

메타버스 시대의 도래와 함께 개인 맞춤형 아바타에 대한 수요가 급증하고 있다. 기존의 아바타 생성 기술은 대부분 사전에 정의된 몇 가지 얼굴형과 특징을 조합하는 방식으로 이루어져 개인의 고유한 특징을 반영하는 데 한계가 있었다. 이러한 한계를 극복하고 더욱 현실적이고 개인화된 아바타 생성 기술에 대한 필요성이 대두되고 있다 [1][2]. 본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해 2차원 증명사진을 기반으로 3차원 아바타의 얼굴을 실시간으로 교체하는 기술을 제안한다. 즉, 사용자가 자신의 증명사진을 제공하면 이를 바탕으로 기존의 3D 아바타 모델의 얼굴을 실시간으로 교체하여 개인 맞춤형 아바타를 생성하는 것이다. 이를 통해 사용자는 자신만의 고유한 외모를 가진 아바타를 쉽고 빠르게 생성할 수 있으며, 메타버스 환경에서 더욱 몰입감 있는 경험을 할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구의 핵심 기술은 다음과 같다. 먼저, 3D 저작 도구인 블렌더를 활용하여 기존 아바타의 얼굴 메쉬를 2차원 이미지의 특징점과 매핑한다. 이를 통해 증명사진의 정보를 3D 모델에 정확하게 반영할 수 있다. 다음으로, 얼굴 표정 변형에 따른 자연스러운 변화를 구현하기 위해 리깅 작업을 수행한다. 리깅을 통해 아바타의 얼굴에 뼈대를 설정하고, 이를 조절하여 다양한 표정을 구현할 수 있다. 마지막으로, FBX 형식으로 모델을 export하여 유니티 게임 엔진으로 가져와 실시간 렌더링 환경을 구축한다. 특히, 얼굴 피부의 질감과 색상을 정확하게 표현하기 위해 머티리얼 매칭 기법을 적용하여 현실감 있는 아바타를 생성한다. 본 연구의 주요 기여는 다음과 같다. 첫째, 2차원 이미지를 기반으로 3차원 아바타를 생성하는 기술의 고도화를 통해 개인 맞춤형 아바타 생성의 가능성을 확장하였다. 둘째, 이미지 생성 모델과의 연동을 통해 더욱 다양한 얼굴 특징을 가진 아바타 생성 가능성을 제시하였다. 셋째, 메타버스 환경에서의 개인 맞춤형 아바타 생성 기술의 발전에 기여할 것으로 기대된다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 소개하고, 3장에서는 제안하는 방법론을 상세히 설명한다. 4장에서는 실험 결과를 제시하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련연구

2.1 국내외 기술동향

3D 아바타 얼굴 교체 기술은 게임, 영화, 메타버스

등 다양한 분야에서 활용되며, 최근 딥러닝 기술 발전과 더불어 빠르게 발전하고 있다[3][4]. 국내 연구에서는 주로 3DMM(3D Morphable Model) 기반의 얼굴 모델링 연구가 활발하며, 얼굴 특징점 검출 및 정렬 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한, 실시간 처리를 위한 경량화된 모델 개발 및 다양한 표정 변화 구현을 위한 리깅(rigging) 기술에 대한 연구도 활발하다. 특히, 국내 게임 산업에서는 블렌더를 활용하여 캐릭터 얼굴을 커스터마이징하는 기술이 활발하게 연구되고 있다. 해외 연구에서는 StyleGAN과 같은 고성능 생성 모델을 활용하여 더욱 사실적인 얼굴 이미지를 생성하는 연구가 주를 이룬다. NeRF(Neural Radiance Fields)를 이용하여 3D 공간을 묘사하는 연구도 활발히 진행되고 있으며[5][6], 이를 통해 더욱 정확하고 사실적인 3D 얼굴 모델을 생성하는 것이 가능해졌다. 또한, 3D 스캔 데이터를 활용하여 더욱 정확한 3D 얼굴 모델을 생성하는 연구도 진행되고 있다. 최근에는 딥러닝 기반의 얼굴 애니메이션 기술과의 결합을 통해 더욱 자연스러운 표정 변화를 구현하는 연구도 활발히 진행되고 있다[7][8][9]. 또한, 메타버스 환경에서의 활용을 목표로, 다양한 얼굴 특징을 가진 아바타를 실시간으로 생성하고 조작하는 기술에 대한 연구가 집중되고 있다. Fig. 1은 2D 얼굴을 3D 자동매칭하는 과정이다.

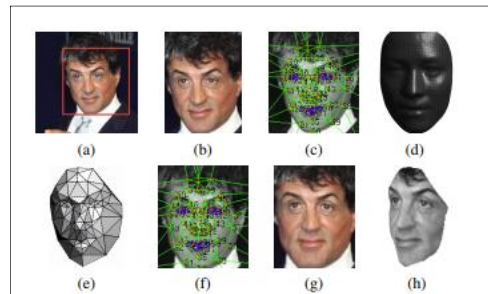


Fig. 1. Human-Level Performance in Face

국내외 연구의 공통적인 목표는 더욱 사실적이고 다양한 표현이 가능한 3D 아바타 얼굴 모델을 생성하는 것이다. 이를 위해 딥러닝, 컴퓨터 그래픽스, 인공지능 등 다양한 분야의 기술이 융합되어 활용되고 있다. 본 연구는 기존 연구의 한계점을 극복하고, 2D 이미지를 기반으로 실시간 얼굴 교체가 가능한 3D 아바타 생성 기술을 제안한다. 특히, 이미지 생성 모델과 3D 모델링 기술을 결합하여 고품질의 개인 맞춤형 아바타를 생성하고, 메타

버스 환경에서의 활용 가능성을 높였다. 결론적으로, 3D 아바타 얼굴 교체 기술은 딥러닝 기술의 발전과 함께 빠르게 발전하고 있으며, 앞으로도 다양한 분야에서 활용될 것으로 기대된다. 특히, 메타버스, 가상현실 등 새로운 기술과의 융합을 통해 더욱 발전할 가능성이 높다[10-12].

2.2 Avata Maker

"Avatar Maker Free - 3D Avatar from a Single Selfie"는 사용자가 자신의 얼굴을 기반으로 3D 아바타를 생성할 수 있는 애플리케이션으로, 개인의 셀카 사진 한 장만으로 3D 아바타를 자동으로 제작하는 기능을 제공한다. 이 애플리케이션은 사용자의 얼굴 특징을 인식하여 이를 3D 모델로 변환하는 기술을 바탕으로, 신속하고 직관적인 방식으로 아바타를 생성한다. 사용자 친화적인 인터페이스와 함께, 아바타의 외형을 다양한 스타일과 표정으로 커스터마이징할 수 있는 기능을 제공하며, 개인화된 3D 아바타를 빠르게 구현할 수 있는 장점이 있다[13,14].

Fig. 2는 2D 사진을 이용한 3D얼굴 매칭 도구인 아바타 메이커이다.

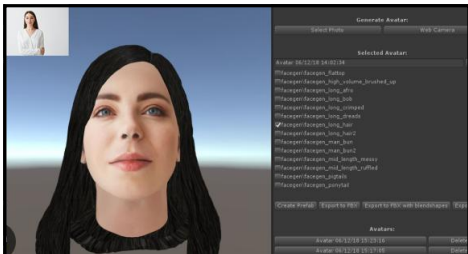


Fig. 2. Avata Maker for 2D Picture

Fig. 3과 같이 다양한 표정을 제어하는 인터페이스를 제공한다.

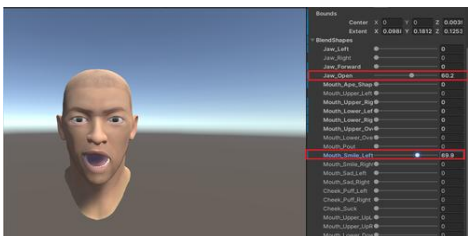


Fig 3. Face expression control

본 연구에선 위 얼굴표정을 찾아 적합한 한 개를 선정하고 3D 파일인 FBX파일 형태로 3D얼굴을 수집했다.

3. 3D 아바타 얼굴 변환

3.1 실험환경

운영체제는 윈도우 10 64비트, macOS, 리눅스 중 하나를 사용하고, 64비트 시스템을 권장한다.하드웨어는 인텔 코어 i5 이상의 프로세서, 16GB 이상의 RAM, 엔비디아 지포스 GTX 1060 이상의 그래픽 카드, SSD 저장 장치를 사용하면 더욱 빠른 작업이 가능하다.

Table 1 Test environment

Category	Specification	Notes
Operating System	Windows 10 64-bit, macOS, or Linux	64-bit operating system is recommended for better performance
Processor	Intel Core i5 or AMD Ryzen 5 or equivalent	Multi-core processor for faster rendering and simulations
Memory (RAM)	16GB or more	More RAM for handling complex scenes and large models
Graphics Card	NVIDIA GeForce GTX 1060 or AMD Radeon RX 580 or equivalent	Dedicated GPU with at least 4GB VRAM for real-time viewport rendering
Storage	SSD recommended	Faster load times and better overall performance
Blender Version	Latest stable release (currently 3.6)	Ensure you have the latest version for bug fixes and new features
Unity Version	Latest long-term support (LTS) release	Unity is used for game development and not directly involved in this process, but it's often used to import Blender models

소프트웨어는 블렌더 최신 버전, 텍스트 편집기, 버전 관리 시스템(Git)이 필요하며, 서브스텐스 페인터, 마모 셋 툴백 등 추가적인 툴을 활용했다. 유니티는 블렌더에서 작업한 모델을 게임에 활용하고 싶다면 유니티 최신 LTS 버전을 사용했다. 추가적으로 블렌더 인터페이스, 리깅, 가중치 페인팅, 벡텍스 그룹 등에 대한 이해가 필요하다.

4. 3D 아바타 제작 시험

블렌더에서 리깅된 캐릭터의 얼굴을 교체하는 과정은 다음과 같다. 먼저, 리깅이 완료된 캐릭터 모델을 블렌더에 불러온다. 바꾸고 싶은 얼굴 아바타(fbX 파일)를 가져온다. 기존 캐릭터의 얼굴은 Edit 모드에서 삭제하는데, 얼굴이 여러 개의 오브젝트로 구성되어 있을 경우 각 벡텍스나 페이스를 개별적으로 삭제해야 한다. 삭제가 완료되면, 새로운 얼굴 아바타를 기존 캐릭터의

Armature(뼈대)의 자식으로 이동시킨다. 이때 Shift+클릭 드래그로 얼굴을 Armature에 연결한다. 새로운 얼굴 오브젝트에 기존 얼굴과 동일한 조건의 모디파이어를 추가하고, 스포이드 툴을 사용해 기존 뼈대에 맞는 설정을 적용하고, 오브젝트와 뼈대를 연결한다. 이때, Ctrl+P를 눌러 "Empty with Automatic Weights" 설정을 사용해 얼굴 오브젝트와 Armature를 연결한다. 새로운 얼굴 오브젝트에 버텍스 그룹을 추가하고, 목과 머리 부분만 해당 그룹에 포함되도록 설정한다. 오브젝트를 클릭한 후 뼈대를 선택해 Ctrl+P를 누르고 "Bone"을 선택해 얼굴과 뼈대 간의 관계를 설정한다. 이후, 머리 부분에는 머리 강도만큼, 목 부분에는 목 강도만큼 페인트 작업을 진행한다. 머리와 목을 구분하여 각 부위에 맞는 페인트를 적용한 후, 변경된 모델을 FBX 형식으로 내보낸다. 이렇게 하면 리깁된 캐릭터의 얼굴을 성공적으로 교체할 수 있다.

Table 2 Matching procedure

Step	Action	Tools	Notes
1	Import the Rigged Character	Blender	Ensure the model is in a compatible format (e.g., .blend, .fbx)
2	Import the New Face Avatar	Blender	Ensure the avatar is in a compatible format (e.g., .fbx)
3	Delete the Old Face	Blender, Edit mode	Delete each vertex or face of the old face
4	Parent the New Face to the Armature	Blender	Shift+click and drag to parent
5	Add Modifiers and Match Settings	Blender,	Match the modifiers and settings of the old face
6	Connect the Object and Armature	Blender	Ctrl+P, "Empty with Automatic Weights"
7	Create a Vertex Group	Blender	Assign neck and head vertices to this group
8	Parent to Bone	Blender	Ctrl+P, "Bone"
9	Weight Painting	Blender	Paint weights on the head and neck areas
10	Export as FBX	Blender	Configure export settings

이렇게 만들어진 캐릭터는 유니티 게임엔진으로 불러와 메타버스 공간에 배치한다. 그 후 얼굴 부분에 대한 메테리얼이 입혀있지 않아 메테리얼을 생성하고 스킨을 입힌다. 애니메이션 동작이 올바르게 되어있는지 확인하기 위해 시험을 진행한 결과 문제없이 동작함을 확인했다. Table 3은 이와 같은 과정을 단계별로 도식화 한 것이다. 블렌더 작업과 유니티 메타버스 작업을 통해 완성도와 동작방식을 시험했다[15,16].

Table 3. 3d avatar production process




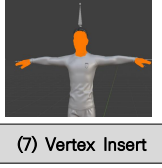
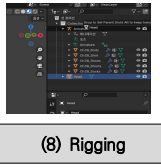
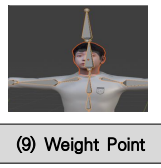
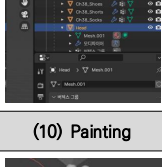
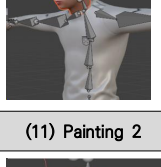
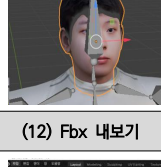
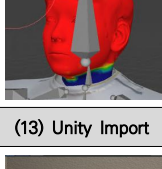
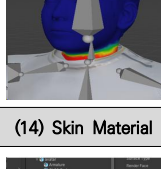


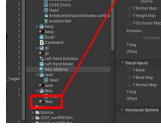
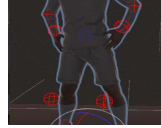
(1) Model Import	(2) Face Import	(3) Maching
		
(4) Erase face	(5) Armature etting	(6) Bone Insert
		
(7) Vertex Insert	(8) Rigging	(9) Weight Point
		
(10) Painting	(11) Painting 2	(12) Fbx 내보기
		
(13) Unity Import	(14) Skin Material	(15) completion
		

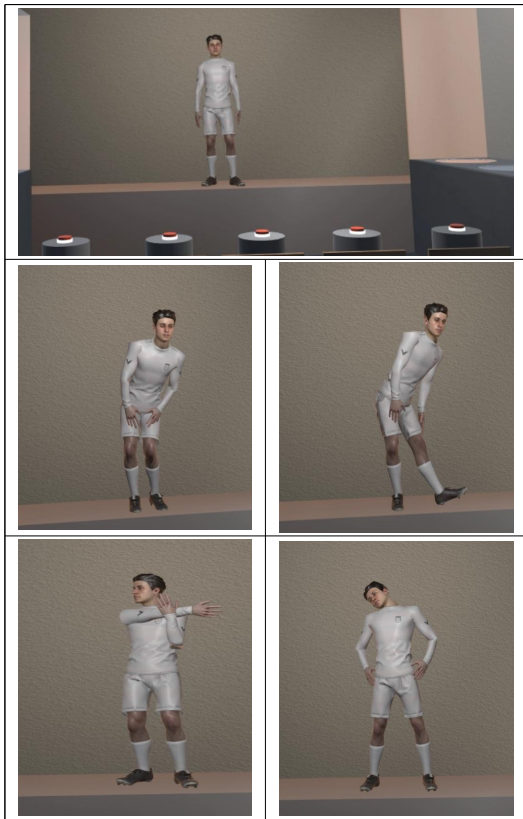
Table 4는 아바타 모션을 테스트하여 기본 동작과 주요 동작들이 올바르게 작동하는지 확인하였으며, 얼굴 부분의 움직임이 자연스럽게 표현되는지도 검증하였다.

Table 4. Avatar motion test



(Continued)

Table 4. Avatar motion test



4 결론

본 논문에서 다룬 리깁된 캐릭터의 얼굴 교체 과정은 블렌더를 활용한 3D 모델링 및 리깁 작업에서 중요한 프로세스를 설명하였다. 리깁이 완료된 캐릭터 모델에 새로운 얼굴 아바타를 적용하기 위해, 먼저 FBX 파일 형태로 새로운 얼굴 모델을 불러온 후, 기존 얼굴을 Edit 모드에서 삭제하는 작업을 수행하였다. 다중 오브젝트로 구성된 얼굴의 벡터스 및 페이스는 각각 개별적으로 삭제해야 정확한 교체가 가능하며, 이를 통해 기존 캐릭터와 새로운 얼굴 간의 호환성을 확보할 수 있었다. 새로운 얼굴 아바타는 기존 캐릭터의 Armature(뼈대)에 연결되도록 Shift+클릭 드래그를 통해 부모 관계를 설정하였고, 이를 위해 기존 얼굴과 동일한 모디파이어를 적용하여 일관된 변형 및 애니메이션 적용이 가능하도록 준비했다. 또한, 스포이드 툴을 사용하여

Armature와 일치하는 무게 설정을 정확히 적용하였고, "Empty with Automatic Weights" 옵션을 통해 얼굴과 Armature를 빠르고 정확하게 연결하는 작업을 수행하였다. 이를 통해 얼굴 모델이 Armature를 따르도록 하여 자연스러운 움직임이 보장되었다. 이후, 새로운 얼굴 모델에 벡터스 그룹을 추가하였으며, 목과 머리 부분만을 선택적으로 그룹에 포함하여 페인트 작업의 범위를 제한했다. 페인트 작업은 목과 머리 부위에 대해 각각 다른 강도를 적용하여 자연스러운 무게 분배를 구현했으며, 이를 통해 불필요한 왜곡을 최소화하면서 얼굴 모델과 Armature 간의 연결성을 최적화할 수 있었다. 마지막으로, 이러한 변경 사항을 FBX 형식으로 내보내어 최종적으로 리깁 및 교체된 얼굴 모델을 외부 애니메이션 소프트웨어나 게임 엔진에서 활용할 수 있도록 했다. 이러한 과정을 통해, 리깁 및 모델 교체 과정에서 발생할 수 있는 문제점을 효과적으로 해결할 수 있었으며, 원하는 얼굴 아바타를 정확하게 적용하면서 자연스러운 리깁 성능을 유지할 수 있었다. 앞으로, 이러한 기술적 절차와 작업 프로세스는 리깁 기반 3D 캐릭터 모델링 및 애니메이션 작업에서 더욱 고도화된 작업 흐름을 제공할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- [1] Y. Taigman, M. Yang, M. A. Ranzato & L. Wolf. (2014). Deepface: Closing the gap to human-level performance in face verification. *In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1701-1708). DOI : 10.1109/CVPR.2014.220.
- [2] Paysan, P., Knothe, R., Amberg, B., Romdhani, S., & Vetter, T. (2009, September). A 3D face model for pose and illumination invariant face recognition. *In 2009 sixth IEEE international conference on advanced video and signal based surveillance* (pp. 296-301). Ieee. DOI : 10.1109/AVSS.2009.58.
- [3] L. Wei & E. J. Lee. (2008, November). Improved Multi-pose 2D Face Recognition Using 3D Face Model with Camera Pose Estimation Approach and nD-PCA Recognition Algorithm. *In 2008 Third International Conference on Convergence and Hybrid Information Technology* (Vol. 2, pp. 728-736). IEEE. DOI : 10.1109/ICCIT.2008.136.
- [4] M. Marques & J. Costeira. (2008, September). 3D

- face recognition from multiple images: A shape-from-motion approach. In *2008 8th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition* (pp. 1-6). IEEE.
DOI : 10.1109/AFGR.2008.4813303.
- [5] A. F. Abate, M. Nappi, S. Ricciardi & G. Sabatino, (2005, September). Fast 3D face recognition based on normal map. In *IEEE International Conference on Image Processing 2005 (Vol. 2, pp. II-946)*. IEEE.
DOI : 10.1109/ICIP.2005.1530213.
- [6] H. Tang, Y. Hu, Y. Fu, M. Hasegawa-Johnson, & T. S. Huang. (2008, June). Real-time conversion from a single 2D face image to a 3D text-driven emotive audio-visual avatar. In *2008 IEEE International Conference on Multimedia and Expo* (pp. 1205-1208). IEEE.
DOI : 10.1109/ICME.2008.4607657.
- [7] D. Kumarapeli, S. Jung & R. W. Lindeman. (2022, March). Emotional avatars: Effect of uncanniness in identifying emotions using avatar expressions. In *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (pp. 650-651). IEEE.
DOI : 10.1109/VRW55335.2022.00176.
- [8] S. Morishima. (2000, August). Face image analysis and synthesis for human-computer interaction. In *WCC 2000-ICSP 2000. 2000 5th International Conference on Signal Processing Proceedings. 16th World Computer Congress 2000* (Vol. 2, pp. 1213-1220). IEEE.
DOI : 10.1109/ICOSP.2000.891767.
- [9] S. Morishima. (2000, December). Realtime face analysis and synthesis using neural network. In *Neural Networks for Signal Processing X. Proceedings of the 2000 IEEE Signal Processing Society Workshop (Cat. No. 00TH8501)* (Vol. 1, pp. 13-22). IEEE.
DOI : 10.1109/NNSP.2000.889356.
- [10] S. Gurbuz, S. Yoshida & N. Inoue. (2008, May). Real-time synthesis of natural head motion on a 3D avatar from reconstructed 3D frontal face data. In *2008 3DTV Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video* (pp. 277-280). IEEE.
DOI : 10.1109/3DTV.2008.4547862.
- [11] S. Bader & N. E. B. Amara. (2014, November). SID-avatar database: A 3D Avatar Dataset for virtual world research. In *International Image Processing, Applications and Systems Conference* (pp. 1-5). IEEE.
DOI : 10.1109/IPAS.2014.7043319.
- [12] C. H. Huang, N. C. Tang, W. S. Yeh, C. M. Hsieh & Y. C. Liao. (2008, July). Using multiple cameras to construct 3D avatar from 2D video based on thinning and tracking algorithm. In *2008 First IEEE International Conference on Ubi-Media Computing* (pp. 249-254). IEEE.
DOI : 10.1109/UMEDIA.2008.4570898.
- [13] H. Boujut, M. Ourir & T. Zaharia. (2014, September). A fully automatic framework for building 3d animated avatars. In *2014 IEEE Fourth International Conference on Consumer Electronics Berlin (ICCE-Berlin)* (pp. 36-40). IEEE.
DOI : 10.1109/ICCE-Berlin.2014.7034312.
- [14] B. Mu, Y. Yang & J. Zhang. (2009, July). Implementation of the interactive gestures of virtual avatar based on a multi-user virtual learning environment. In *2009 International Conference on Information Technology and Computer Science* (Vol. 1, pp. 613-617). IEEE.
DOI : 10.1109/ITCS.2009.134.
- [15] M. Joachimczak, J. Liu & H. Ando. (2022, March). Creating 3D personal avatars with high quality facial expressions for telecommunication and telepresence. In *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)* (pp. 856-857). IEEE.
DOI : 10.1109/VRW55335.2022.00279.
- [16] R. M. Paweroi & M. Köppen. (2023, September). 3D Avatar Animation Optimization in Metaverse by Differential Evolution Algorithm. In *2023 International Conference on Intelligent Metaverse Technologies & Applications (iMETA)* (pp. 1-7)
DOI : 10.1109/iMETA59369.2023.10294661.

이 병 권(Byong-Kwon Lee)

[정회원]



- 2007년 2월 : 충북대학교 전자계산학(이학사)
- 2010년 5월 : 이솔정보통신 연구소장
- 2020년 4월 ~ 현재 : 서원대학교 미디어콘텐츠학부 교수

- 관심분야 : 인공지능, 정보통신, 블록체인, 컴퓨터구조
- E-Mail : sonic747@daum.net