

氏 名	ばつととるが ほうすれん バトルルガ 하우스レン	
本籍（国籍）	モンゴル	
学位の種類	博士(工学)	
学位記番号	工 第53号	
学位授与年月日	令和3年3月23日	
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当 論文博士	
学位論文 題目	A Study on Effective View-Dependent Projection Mapping by Projecting Virtual Object and Real Background with Perspectively-Correct Appearance (仮想物体と実背景を正しく見えるように投影する効果的な視点依存プロジェクションマッピングに関する研究)	
学位審査委員	主査 教授	藤本 忠博
	副査 教授	今野 晃市
	副査 教授	田中 隆充

論 文 内 容 の 要 旨

Augmented Reality (AR) generates a direct or indirect view of a real-world environment whose elements are augmented by computer-generated inputs. The inputs could differ from audio to visual. There is a fascination with AR because the AR technology records the real world and virtual world together, and they run jointly in real time in three dimensions. A viewer feels as if a computer-generated virtual object existed in the real world if the viewer correctly observes its geometrical appearance from an arbitrary position. The display of an image of a virtual object with its correct appearance according to the viewer's position is called "view-dependent" display. In AR, a viewer usually uses his/her display device, such as a tablet, a smartphone, or special glasses, to display a view-dependent image for his/her arbitrary position. In contrast, in "spatial augmented reality (SAR)" including projection mapping, multiple viewers at different positions see a common image of a virtual object projected on the surface of a real object, such as a wall, a building, and even a human, by the naked eyes without their own display devices. In SAR, if the shape of the virtual object is different from that of the real object, a viewer at an arbitrary position sees a "geometrically incorrect appearance" of the virtual object.

In addition, the real object has some areas onto which nothing is projected on its surface. Such “empty areas” make the viewer perceive the presence of the real object which should not be perceived. While other researchers have proposed lots of methods to solve the “geometrically incorrect appearance” problem, as far as we know, there is no existing method to treat the “empty area” problem. In this study, we propose a view-dependent projection mapping method to solve the “empty area” problem. Our method eliminates undesired empty areas by projecting the real background behind the virtual object in a view-dependent way. In our method, to treat a far background in a large space, even outdoors, the real background is captured by an RGB camera, not an RGB-D camera with a depth range limit. The captured real background image is converted to an appropriate image seen from a viewer’s position by homography using a background plane to approximate the background shape. The converted real background image is combined with a virtual object image rendered from the viewer’s position. Then, the combined image containing the virtual object and the real background is converted into a projection image to project by a projector; this is done by the well-known two pass algorithm. Finally, the projection image is projected on the surface of the real object in the real world. The projected image shows the perspectively-correct appearances of the virtual object and the real background to the viewer’s position. The homography is obtained from the intrinsic and extrinsic parameters of the projector and the camera, the viewer’s position, and the geometry of the background plane. The background plane is determined by practical background parameters. The background parameters for the viewer’s position are determined by the 3D grid-based interpolation, which uses global parameters given to a whole grid space and local parameters given to grid points respectively. We did some experiments in a virtual environment and a real environment. In order to make a viewer not perceive the presence of a real object, a projected background on the surface of the real object should be matched with a directly-observed background as appropriately as possible along the boundary of the contour of the real object. In the experiments, we found that such a “boundary match” could be achieved by the interpolation using appropriate background parameters. Besides, we also found that our method could achieve an appropriate view-dependent display to show a virtual object and the background behind it with their perspectively-correct appearances.

論文審査結果の要旨

本論文は、仮想物体と実背景の映像を投影することで仮想物体のリアリティを高める効果的な視点依存プロジェクションマッピング手法を提案している。仮想物体により実世界を拡張する拡張現実の一つである空間拡張現実では、表示装置（スマートフォンや特殊な眼鏡等）を使用せず、鑑賞者が裸眼で仮想物体を見ることを可能とする。その代表的な技術であるプロジェクションマッピングでは、実世界にある実物体（屋内のインテリアや屋外の建物等）の表面上に仮想物体の映像をプロジェクタで投影する。このとき、鑑賞者の任意の視点から常に仮想物体が歪みなく正しく見えれば、仮想物体のリアリティ、すなわち、実世界に実在するような印象を鑑賞者に与えることができる。これは、視点依存プロジェクションマッピングと呼ばれる。実物体と仮想物体の形状が同じ場合には、視点依存プロジェクションマッピングは容易に実現される。一方、形状が異なる場合には、鑑賞者の視点とプロジェクタの位置、及び、実物体の表面形状に合わせた変換によって適切な投影映像を得る必要があり、2パスアルゴリズムなどの手法が提案されている。形状が異なる場合には、さらに、実物体の表面上に仮想物体の映像が投影されない未投影領域が生じる問題が起こる。これは、実物体の存在感を鑑賞者に与え、仮想物体のリアリティを大きく損なう。そこで、本論文では、この問題を解決するため、鑑賞者の視点から見て実物体の背後に隠れている実背景の映像を未投影領域に投影することで、実物体の存在感を軽減し、仮想物体のリアリティを高める手法を提案している。これまでに未投影領域の問題を扱った研究事例は見当たらず、提案手法には新規性がある。

本論文の構成は以下となる。

第1章は序論であり、拡張現実と空間拡張現実の概要を述べ、上述した未投影領域の問題を提起し、提案手法のアイデアを述べている。

第2章では、まず、プロジェクションマッピングの代表的な手法を紹介している。そして、未投影領域の問題を再考し、提案手法の方針を述べている。

第3章では、提案手法の詳細について述べている。まず、提案手法の概要を述べ、そのアルゴリズムを構成する3つのステップを説明している。ステップ1と2はコンピュータ内の仮想空間における処理である。ステップ1では、実背景をカメラで撮影した実背景映像を鑑賞者の視点に合わせて変換し、鑑賞者の視点に合わせてレンダリングした仮想物体の映像と合成して、鑑賞者視点映像を生成する。ステップ2では、鑑賞者視点映像をテクスチャとして鑑賞者視点から実物体の表面に向けて投影マッピングし、プロジェクタ視点からレンダリングすることで投影映像を生成する。ステップ3では、実空間において投影映像を実物体の表面に投影する。続いて、実物体、プロジェクタ、カメラの位置は固定し、鑑賞者が実物体の周囲を移動することとして、各ステップの詳細を述べている。ステップ1におけるカメラ視点から鑑賞者視点への実背景映像の変換が提案手法におい

て最も重要である。実背景の形状を平面（背景平面）で近似し、ホモグラフィによる射影変換により効率的に変換する。そのため、背景平面を背景パラメータによって定義する方法、カメラ視点と鑑賞者視点の情報と背景平面の幾何情報から射影変換に用いる 3×3 行列を求める方法を説明している。ステップ 2 では、既存の 2 パスアルゴリズムを用いている。その後、より実践的な背景パラメータを提案し、鑑賞者の任意の視点に合わせて最適な背景平面を得るため、3 次元空間上で背景パラメータを補間する方法を述べている。

第 4 章では、実験結果を示している。まず、提案手法の基本的な能力を検証するため、仮想空間上で実験を行っている。背景パラメータの調整により実背景映像が容易に変換できること、実背景映像の投影により仮想物体のリアリティが高まることが示されている。また、背景パラメータの補間により、鑑賞者の任意の視点に対して、実物体の表面に投影された実背景と直接的に見える実背景が実物体の輪郭に沿って自然に調和することが示されている。続いて、実空間上での実験結果が示されている。広い空間内で遠方に複雑な形状の実背景がある場合でも、提案手法が有効に働くことが示されている。

第 5 章は結論であり、本論文のまとめと今後の課題について述べている。

以上、本論文は、実背景の映像を投影することで仮想物体のリアリティを高める視点依存プロジェクションマッピング手法を提案しており、コンピュータグラフィックスとエンタテインメントコンピューティングの分野の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

原著論文名（1 編）

View-dependent Projection Mapping Enhanced by Real Background, Khuslen Battulga, Tadahiro Fujimoto, The Journal of the Society for Art and Science, 掲載予定（2021 年 2 月 5 日採択済）