

ステレオ投影による視覚的変形で知覚される実物体表面質感の調査

An Investigation of Real Surface Texture Perception by Stereo Projection Technique

奥谷 凧 岩井 大輔 佐藤 宏介
Nagisa Okutani Daisuke Iwai Kosuke Sato

大阪大学大学院基礎工学研究科
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Projection based product-design systems have been developed to improve the efficiency of an industrial design process. In case of shape design, a stereo projection is a promising method to modify the visual shape on a fixed shaped physical object. Because of low spatial resolution and the dynamic range, it is difficult to represent high-quality textures by the current commercial projectors. In this paper, to overcome the difficulties, we propose a simple shape deforming method with real texture surfaces. We confirmed effectiveness of the proposed method by an evaluation experiments using 12 surface texture. The result showed that the proposed method was effective on some surface textures. Finally, we discussed the properties of surface textures in which proposed method was not effective.

1. はじめに

従来プロジェクタは、投影対象の視覚情報を制御することができる装置として用いられてきた。しかし、既存のプロジェクタでは、ダイナミックレンジや空間解像度の制約から、細かい質感等の視覚情報を自由自在に制御することは困難である。近年では、プロジェクタを空間解像度の高い照明装置とみなし、表面質感には実物のものをそのまま利用するような研究が増えてきた [Miyasita 2016, Bermano 2013, 日野 2012, Kawabe 2016]。しかし、それらの研究では表面の輝度パターンを制御するに留まり、投影対象の形状変形は行っていない。

一方、空間型拡張現実感 (SAR : Spatial Augmented Reality) を用いて、投影対象の形状変形を行う研究が行われており [Hisada 2006]、工業デザイン支援への応用が期待されている。SAR とはプロジェクタを用いてコンピュータグラフィックス (CG : Computer Graphics) 上の物体を直接実環境に重畳する技術である。これまでの SAR による形状変形の研究では、白色模型にテクスチャと形状の両方を投影することで、所望の表面質感をユーザに提示していた。しかし上でも述べたように、既存のプロジェクタのダイナミックレンジや空間解像度の制約から、投影されたテクスチャだけでは表面質感を適切に表現することができなかった。近年では、デジタルファブリケーション技術が発展し、多様な表面質感をもった試作品が作れるようになった。多様な表面質感をそのまま利用しつつ、SAR により表面質感は変えずに形状のみの変形が可能であれば形状デザインの過程の時間的・費用的な効率化が期待される。

そこで、繊細な表面質感が重要となってくる製品の形状デザイン過程を効率化するために、我々は「実物の表面質感の利用」と「SAR による形状変形」を組み合わせるアプローチを提案する。具体的には、SAR による形状変形の対象として白色模型ではなく、所望の表面質感の模型を用いる。この手法を用いることで、既存のプロジェクタでは表現することが難しい表面質感を表現しつつ、投影対象の形状を変形が可能だと考えた。本論文では、我々の提案する手法により投影対象の表面質感を保持したまま形状を変形することが可能であるか (提案手法の有効性) を調査することを目的とする。様々な表面質感を

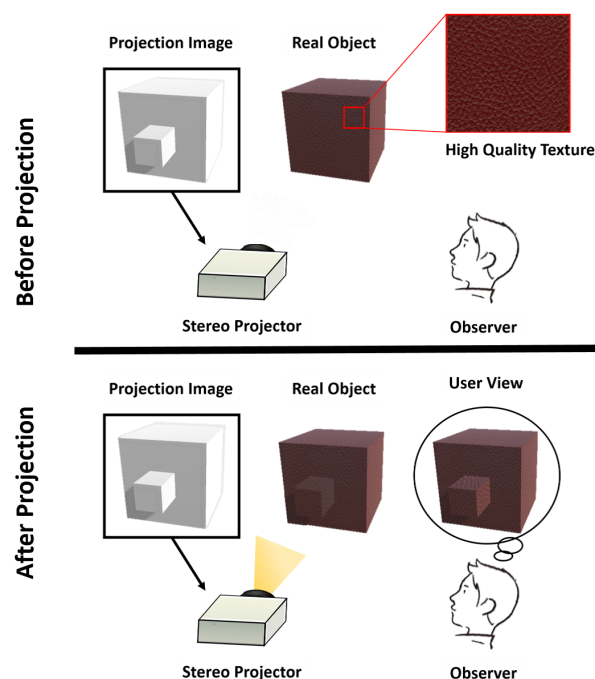


図 1: 提案手法の概要

用いた実験を通して、表面質感の種類によって提案手法の効果が減少することが分かった。

2. 提案手法

両眼視差を考慮した主観的輪郭図形の背景にドット等のテクスチャを付加した図形を実体鏡視すると、主観的輪郭図形内のテクスチャが浮いて見えるという現象が報告されている [Ramachandran 1985]。そこで我々は、提示したい表面質感の実物体に対して、視差を考慮したステレオ投影法を用いた SAR により、形状を変形させる手法を提案する。図 1 に提案手法の概要を示す。視差を考慮した画像の投影により表面質感上に奥行き情報を追加することで、その表面質感を保持したまま投影対象の形状を変形できると考えた。

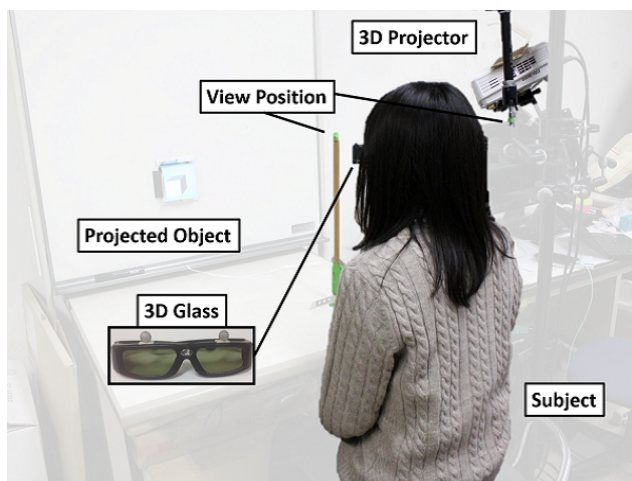


図 2: 実験システムの概要



図 3: 実験に用いた表面質感の一部

3. 有効性検証

提案手法により、表面質感を保持したまま形状が変形できるかどうか、つまり提案手法の有効性の検証を目的とした実験を行った。表面質感の種類により、表面質感の反射特性や模様が異なるため、提案手法の効果が変わると考え、実験には複数の表面質感を用いた。表面質感と被験者の視点位置の距離によって被験者は表面質感の空間周波数が変わったように知覚する。そこで、観測距離によって提案手法の効果が向上、または低下する可能性があるという仮説をたて、異なる距離にある視点位置を2箇所用意した。さらに、人は形状によって奥行き知覚のしやすさが変わる。そのため、形状変形の種類が提案手法の効果を向上または低下させるという仮説をたて、滑らかな変形パターンと滑らかな変形パターンの2つを用意し、検証を行った。

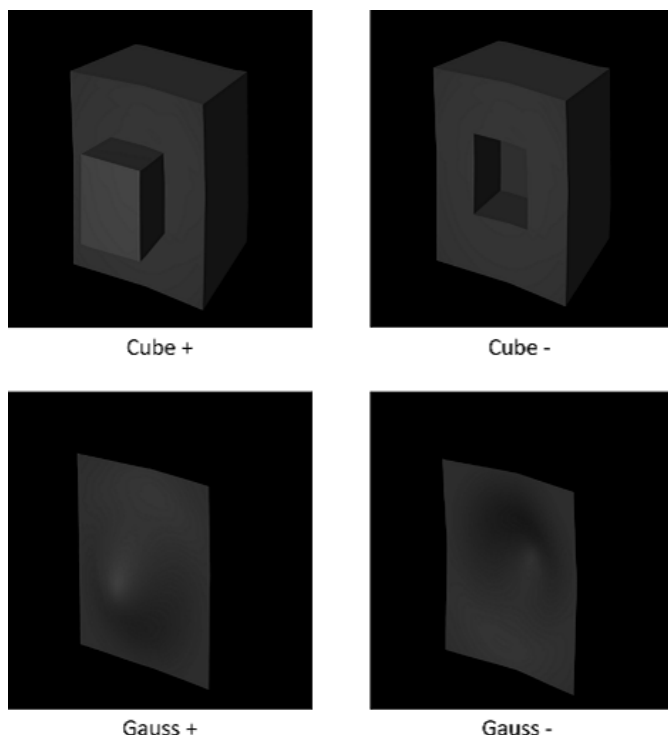


図 4: 実験に用いた投影画像

3.1 実験システム

実験を行ったシステムを図2に示す。垂直な壁に 100×100 mm の表面質感を貼り、ユーザには液晶シャッター式グラスを装着させて、固定された視点位置から表面質感を観測させた。視点位置をもとに投影する投影画像を作成し3D プロジェクタにより投影を行った。今回の実験で用意した視点位置は表面質感から垂直方向左向きにに対し角度30度で、0.5 m、1 m 離れた2箇所とした。被験者は21~24歳の男女10人で、いずれの被験者も各視点位置から表面質感の模様を視認可能であった。表面質感には、ケント紙、プラスチック、革1、革2、石、木1（ブナ）、木2（スギ）、タオル、金属、ガーゼ、絨毯、段ボールの計12種類を用いた。今回使用した表面質感の一部を図3に示す。

3.2 実験内容

投影画像を表面質感に投影し被験者に観測させ、「変形箇所が立体に見えているか」「もし立体に見えているなら、変形箇所と同じようにテクスチャも飛び出している（へこんでいる）ように見えるか」を確認した。その結果から被験者の回答をType A、Type B、Type Cに分ける。Type Aは投影画像を立体視でき、且つ変形箇所と同じように表面質感も変形しているように見えた場合、Type Bは立体視できたが変形箇所と同じように表面質感が変形しているように見えなかった場合、Type Cは立体視できなかった場合である。本実験では、Type Aを提案手法が有効であるとする。これを全12種類の表面質感を用い、かつ2箇所の視点位置において行う。実験に用いた投影画像は4種類（Cube +、Cube -、Gauss +、Gauss -）で、それぞれ図4に示す。投影対象のうち 40×40 mm の領域を変形したものを投影画像 Cube、異方性正規分布をもとに変形を行ったものが投影画像 Gauss とする。投影画像 Cube がなめらかなでない変形パターン、投影画像 Gauss がなめらかな変形パターンにあたる。また壁から被験者方向への変形を+、被験者から壁方向への変形を-とした。各投影

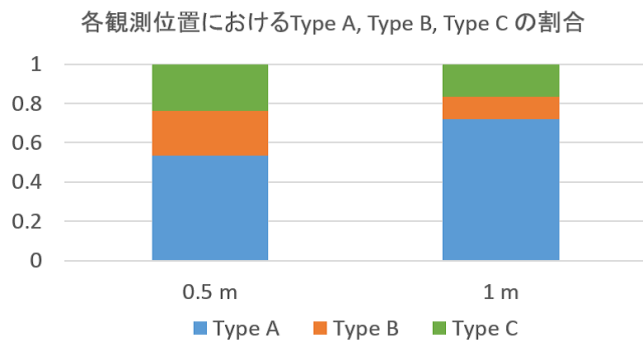


図 5: 各観測位置における全 Type A の数

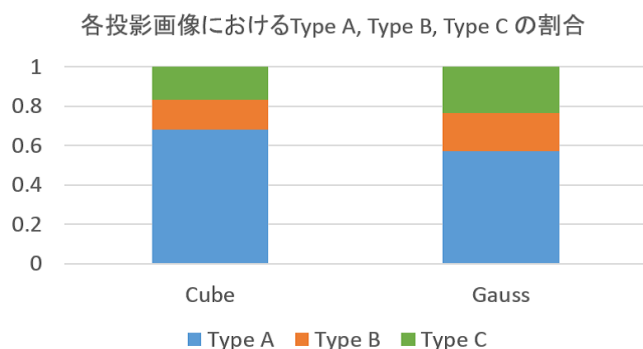


図 6: 各投影画像における全 Type A の数. + 方向, - 方向の違いについては考慮していない.

画像の変形量は全て 40 mm で、この値は事前に被験者 4 人による予備実験を通して決定した。各投影画像は被験者に変形の様子が分かるように変形途中でも呈示した。

3.3 実験結果と考察

各視点位置ごとの全表面質感、全被験者における Type A, Type B, Type C の割合を図 5 に示す。グラフより、表面質感と視点位置の距離によって Type A の割合に違いがあることから、仮説通り観測距離によって提案手法の効果が変わることが分かった。1 m から観測した場合、距離が離れたことにより表面質感の模様が小さく見えるようになり、被験者のコントラスト感覚が低下した。そのため、表面質感の奥行き手がかりが減り、多くの被験者が投影により対象の形状が変形しているように見え、Type A の割合が高くなったと考えられる。また距離が離れるにつれて、人は両眼視差よりも陰影情報を基に奥行き知覚を行うようになる。そのため 0.5 m の距離から観測したときと比べ、1 m の距離から観測したときに投影画像の陰影情報の影響が強くなり、投影画像を立体視できた被験者が多かったため、Type A の割合が増えたと考えられる。

各投影画像ごとの全表面質感、全被験者における Type A, Type B, Type C の割合を図 6 に示す。グラフに示すように投影画像が Gauss の場合より Cube の場合での Type A の割合が高かった。このことから、なめらかな変形よりもなめらかなでない変形において提案手法が有効になりやすいことが分かった。原因として投影画像 Cube の方が陰影領域が多いため、奥行き手がかりが多く、右目画像と左目画像が結像しやすかったことが考えられる。

表面質感ごとの Type A から Type C の割合を図 7 に示す。グラフから、「ケント紙」「プラスチック」「草 1」「草 2」「ガー

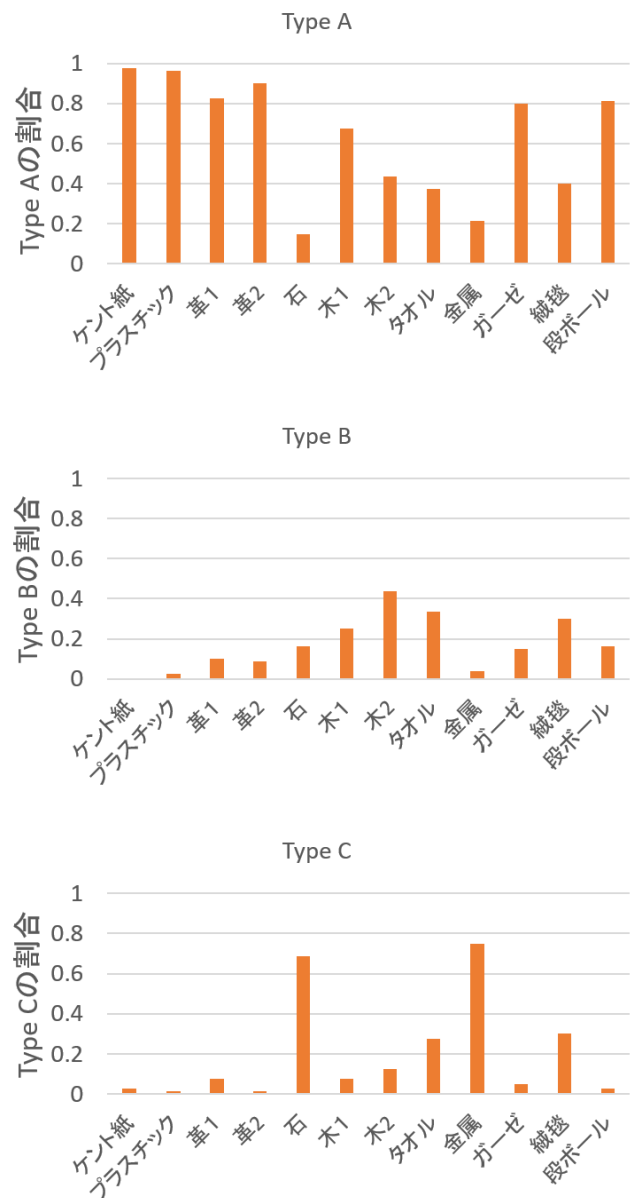


図 7: 表面質感ごとの Type A, Type B, Type C の割合

ゼ」「段ボール」を用いた際は Type A の割合が 8 割を超えていることが分かる。このことから、これらの表面質感においては提案手法が有効なことが分かった。

立体視することができたが、変形箇所と同じように表面質感が変形しているように見えなかった Type B の割合は「木 1」「木 2」「タオル」「絨毯」が高かった。Type B と答えた被験者は立体視が可能である時点で、投影画像に焦点を合わせることが出来ている。被験者の自由回答から、Type B と答えた被験者は立体透明視を行っているのではないかと考えた。立体透明視は、視野上の同一の領域において複数の奥行きを同時に知覚する現象である。被験者が立体透明視を行っているかどうかを調査するために、回答が Type B であった被験者に追加で「変形している層と変形していない層が分かれて見えるか?」という質問を行った。すると全被験者が「層が分かれて見える」と回答した。つまり、Type B のとき被験者は立体透明視を行っていることが分かった。「木 1」「木 2」には木目模様がある。木目模様はコントラストが強い模様である。そのため木目模様の

持つ奥行きの手がかりが多く、被験者が立体透明視を行いやすくなってしまったと考えられる。立体視透明視を行ってしまうと投影画像と表面質感を乖離して認識してしまい、提案手法が有効に働かない。今回実験に用いた「タオル」「絨毯」も同様にコントラストが強い模様があった。そのため、立体透明視が起きやすかったと考えられる。

「石」「金属」は Type C の割合が高いことが分かった。つまりこの 2 つの表面質感では、そもそも投影画像を立体視をできなかった被験者が多かった。「石」は表面の色の反射率が低かったため投影画像を被験者に正しく呈示できず、投影画像を立体視を行うために必要なエッジや陰影情報が欠損してしまい、投影画像を立体視できない被験者が多かったと考えられる。「金属」は鏡面反射が強く、「石」と同様に投影画像を被験者に正しく提示できなかったため Type C の割合が高かったと考えられる。「絨毯」も「石」や「金属」ほどではないが、Type C の割合が多かった。原因として、「絨毯」は表面化散乱が大きかったため、「金属」「石」と同様に投影画像を被験者に正しく提示できなかったことが考えられる。しかし、「石」「金属」「絨毯」の Type A の割合はゼロではないことから、呈示方法の工夫により提案手法が有効になる可能性がある。

以上のことから、提案手法が有効になりにくい表面質感の性質に関する知見を得られた。まず、コントラストが強い模様の表面質感は焦点が合いやすく、立体視透明視が生じてしまうため、提案手法が有効でないと考えられる。また、表面の反射率が低い表面質感や表面化散乱が大きい表面質感はユーザへの投影画像の正確な提示が困難であるため、提案手法が有効でないことが分かった。多種多様な表面質感において提案手法を有効にするには、大きく 2 種類の手法があると考えられる。1 つは投影画像が表面質感に投影されても、エッジや陰影等の情報を失わないように、あらかじめそれらの情報を強調・改良する手法である。2 つ目は、表面質感の模様よりも投影画像に焦点を合わせやすくなるように投影画像にチェッカーパターンのような模様を奥行き知覚情報として新たに追加する手法である。

4. おわりに

本論文では、繊細な表面質感が重要となってくる製品の形状デザイン過程を効率化するために、「実物の表面質感の利用」と「SAR による形状変形」を組み合わせるアプローチを提案した。具体的には、所望の表面質感の実物体を投影対象とし、ステレオ SAR により形状変形を手法である。12 種類の表面質感を用いた実験を行い、提案手法の有効性を調査した。実験の結果から視点位置や変形パターン、表面質感の性質の違いによる提案手法の有効性への影響について知見を得た。

今後は、今回の実験で提案手法が有効でなかった表面質感においても、表面質感を保持したまま形状を変形することが可能となるような手法について調査する。具体的には、変形パターンにチェッカーパターンのような模様を瞬間的につけることで、変形パターンの奥行き知覚情報を増やす手法を検討している。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15H05925 の助成を受けたものである。

参考文献

[Miyasita 2016] Miyashita, L., Ishihara, K., Watanabe, Y., Ishikawa, M. (2016, July). ZoeMatrope: a system

for physical material design. In ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies (p. 24). ACM.

[Bermano 2013] Bermano, A., Bruschweiler, P., Grundhofer, A., Iwai, D., Bickel, B., Gross, M. (2013). Augmenting physical avatars using projector-based illumination. ACM Transactions on Graphics (TOG), 32(6), 189.

[日野 2012] 日野直登, 岩井大輔, 佐藤宏介. (2012). フォトリミック材料を用いた投影面の反射率変調による高コントラスト投影表示 (実世界センシングとその応用). 電子情報通信学会技術研究報告. MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, 111(380), 145-150.

[Kawabe 2016] Kawabe, Takahiro, et al. "Deformation lamps: a projection technique to make static objects perceptually dynamic." ACM Transactions on Applied Perception (TAP) 13.2 (2016): 10.

[Hisada 2006] Masaru Hisada, Keiko Yamamoto, Ichiro Kanaya, and Kousuke Satou: Free-form shape design system using stereoscopic projector-hyperreal 2.0. In SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference, pp. 4832-4835. IEEE, 2006.

[Ramachandran 1985] Vilayanur S Ramachandran and Patrick Cavanagh. Subjective contours capture stereopsis. Nature, Vol. 317, No. 6037, pp. 527-530, 1985.