

B-03

Bending Desktop: 凹んで見える机

竹中雄亮† 外村佳伸‡

1. はじめに

人は身の回りの物理現象を”知覚”し”認識”している。その処理特性ゆえの錯覚も生じるが、その錯覚をうまく利用することは古くから行われている[1][2]。一方近年、人の視覚特性を活用したインタラクションの試みも行われている[3]。こうした中、我々は、周囲のさまざまなモノや環境が情報環境になり得る近い将来に向け、人の知覚特性が活かされるアンビエント・インタラクションの可能性を検討している。たとえば、壁や机、地面などの面的な環境が、錯覚を利用してどのような情報環境になり得るかに興味を持っている。

そのアプローチの一つとして、机の上に投影したタイル模様を変形させるといったシンプルな発想で、置いた物の重さで机があたかも凹んでいるように見える初期システムを提案した[5]。本稿ではさらに改善したシステムを提案するとともに、凹み効果の得られるパラメータ条件を評価実験により得た結果とともに報告する。

2. Bending Desktop

本システムの基本的な目的は、普通の机に模様画面を投影し、それを変化させることで錯視的に机が凹んだように見せることである。具体的にはタイル模様を投影し、物を置いたり動かしたり、タイルを押した際にその条件に応じて視覚的に感じる凹み加減が変わるものである。

ここでの基本的なしくみは、たわみを許容する面の一部を押すと凹むという現象を、奥行方向に押し込まれたものは小さく見えるという遠近法的な特性を利用するものである。具体的には、押された部分のタイル表示を一番小さくし、周辺タイルも押された点との距離に応じて小さくするというシンプルな表現で実現しようとするものである。

2.1 システム構成

図 1 にシステム構成と外観を示す。机の上部に小型プロジェクターと机上物体検出用の Web カメラを設置し、机上面に向けて設置している。使用した小型プロジェクターは正面よりも上方に台形補正した画面を投影するため、投影画面がカメラにかからないような位置関係が実現できている。また、投影画像と撮影画像間の位置関係を対応させるために、投影したタイル模様領域（四角形）をカメラ画像上で指定することにした（図 2）。

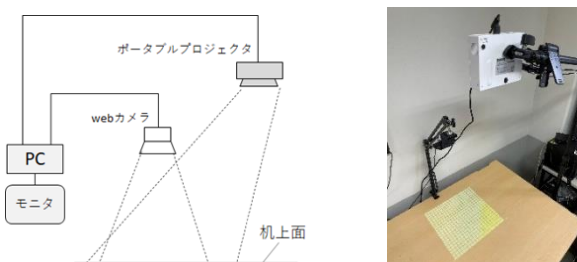


図 1 システム構成, 外観

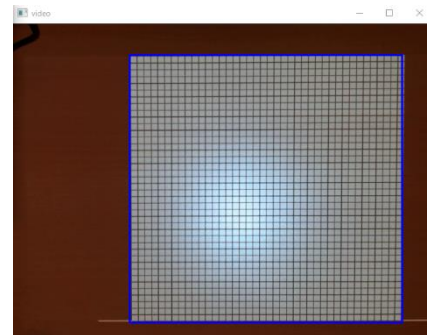


図 2 投影タイル模様領域を青色の枠で指定した様子

2.2 机上模様と凹み表現

図 3 はコンピュータ上で作成した 20 x 20 個のタイルを並べた画像を机の上に投影した様子である。この模様の一部がコンピュータ画面上でマウスで押すと、その点を含むタイルと周辺タイルの大きさが、押された点からの距離に応じて変わる。タイルの大きさは、中心が最も小さく、周辺に行くほど 1 に近づくようにするために関数（式 1）を設定した。図 4 に凹み表現の例を示す。

$$y = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{d} \times h \times k}{\pi} \right) \quad (\text{式 1})$$

ただし、 d は押された点と各タイル中心間の距離、 h は後述する硬さ（凹み加減）調節変数、 k は全体を適正に調節する係数である。 $\pi/2$ で割ることで 90° 以内に抑える。

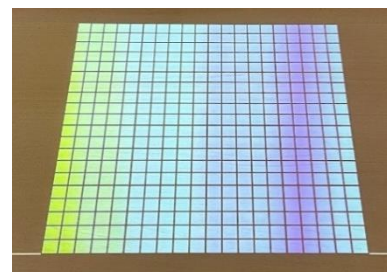


図 3 机の上に投影した 20 x 20 個のタイル

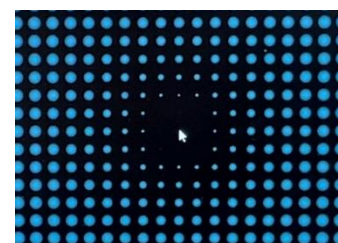


図 4 タイルの凹み表現例

また、様々なパラメータを試すことができるようにコンピュータ画面にコントロールパネルを設けた。変更できるパラメータはタイル模様の形、タイルの硬さ、タイルの色、タイルの一辺の個数である。

今回、タイルの模様として丸と四角を対象に実験した。凹み関数の係数(式1のh)を変えることで凹みの程度を変えることができるため、それを硬さ表現変数とした。実験では全体調整の後(式1のk), hは0.0~2.0の範囲で変えられるが、数値が大きいほどタイルが小さくなる範囲が広がる(柔らかくなることを想定)。タイルの色は色相値0~360°の範囲で変更できる。実験では190°(水色)を使用している。タイル領域は、実験では一辺の長さ約30cmの四角形とし、そこに一辺n個で、全体でn×n個のタイルを敷き詰める。よってnが大きいとタイルは小さくなる。nは10~60個まで設定可能とした。

2.3 置く物体の検出

図4はマウスクリックによる例であるが、物体を置くことによる凹み表現も実現した。そのためには物体の存在を認識する必要がある、本研究では普通の机を用い、置く物についても電子的な仕組みを持たないことを前提としており、今回は色を用いた物体の検出を試みた。

まず、机上をWebカメラで撮影し、刻々の画像データに対して対象となる物の色を持つ画素を検出し、基本的なラベリング処理と合わせて塊となる領域を抽出する。抽出する色の指定はWebカメラで撮影した対象物をモニタ上でクリックをすることで指定できる。ただし物体の色の制約として、机上のタイル表現色とかぶらないことと、投影による物体の色の変化も考慮した閾値処理をする必要がある。図5、図6の例では、タイルは水色系、物は黄色系で安定して処理ができていた。物体は、直径3cmほどのカーリングのおもちゃのストーンに同等の大きさの円形の色紙をかぶせた。このおかげでスムーズな物体の動きが実現した。

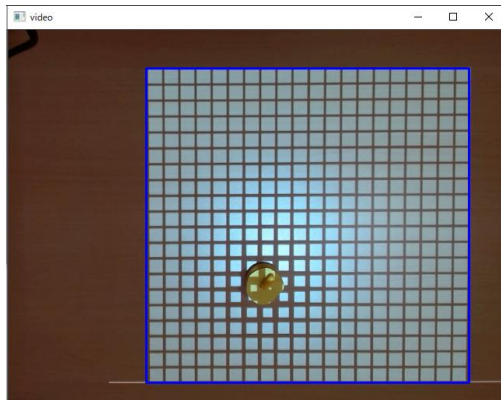


図5 抽出する物体の色の指定

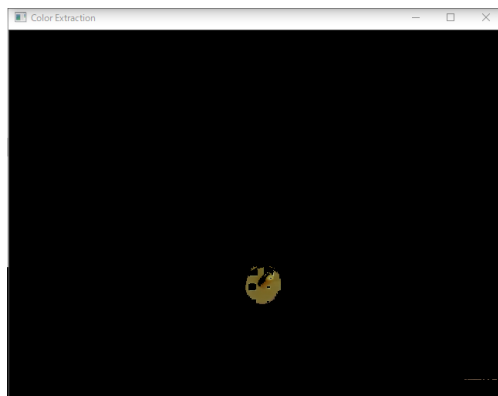


図6 物体の抽出画面

2.4 凹みタイル画像生成・変形処理

一連の処理はPythonを用いてプログラムし、前述の物体認識も含め、画像処理および表示に関してはOpenCVを用いている。各タイルは、位置、大きさ、形、色の属性を持つタイルクラスで定義したオブジェクトである。初期処理で指定の形(丸か四角)と色を持つタイルをn×n個生成し、タイル領域内に詰めて並べる。この時、タイルの実際の大きさはタイル領域の1辺をnで割った値である。また、タイルクラスは最大値を1とする大きさを変える変形メソッドを持ち、イベントとしてマウスがクリックされるか、あるいは前述の色抽出により物の位置が検出された際に呼び出される。タイルの大きさの変形は、与えられた係数で変わるが、イベントのあった位置を最大の凹みとし、その位置を中心として距離が離れるほどタイルの大きさが1に近づくように凹み関数(式1)で計算する。これらの処理はタイル生成以降独立して動き続けるためにスレッド処理をしている。また、Webカメラで撮影する毎フレームごとに行うループ化することで、物が移動する場合にも刻々追従する処理が可能である。処理の流れを図7に示す。

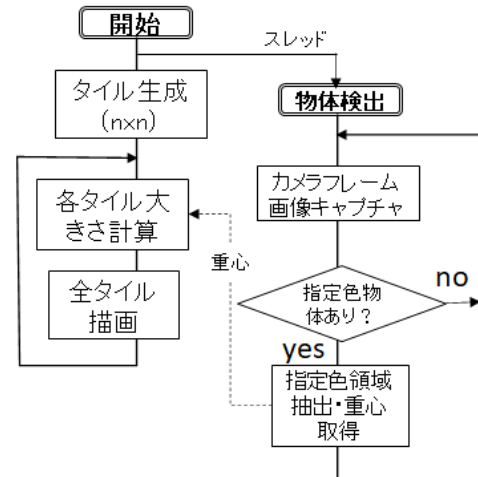


図7 タイル画像生成・変形処理の流れ

3. 評価実験1 (パラメータ組み合わせ調査)

本システムでは投影したタイル模様をの大きさを変化させることで机上面が錯視的に凹んで見えるような表現を試みた。事前実験で各種パラメータの組み合わせにより、凹んで見える効果に違いがあることがわかっており、今回、最も凹み効果の高いパラメータ(タイル模様の種類、タイル模様の一辺の個数、設置した物体の状態)の組み合わせによる効果の違いを調べた。

3.1 実験条件

被験者は20代大学生の男女14人で、各被験者には図8のように机の前でタイル模様を見下ろす姿勢で観察してもらった。机上の約30cm四方のタイル領域を、約80cm離れて見てもらったことになる。事前実験で処理が安定していたパラメータとしてタイル色は190°(水色)、机上面の硬さはある程度凹みが明らかな前述の係数として0.5として実験を行った。

評価するパラメータの種類は、タイルの形として丸と四角形の2種類、タイルの一辺のタイル個数 n は 10, 20, 30 の3種類、認識時の物体の状態は机上に置いて静止させた「静止状態」と、前後左右に動かす「移動状態」の2種類とし、組合せの数は計12種類である。

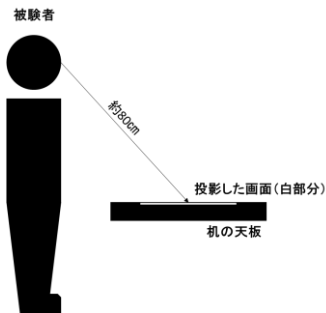


図8 被験者の観察方法

3.2 評価方法

被験者には前述の12種類のパラメータ組み合わせ毎に凹み表現を観察してもらい、凹みを(1: ほぼ感じない, 2: あまり感じない, 3: 少し感じる, 4: 感じる, 5: よく感じる), の5段階から最も近い評価値を選んでもらった。

3.3 実験結果

被験者14人による評価結果の平均値と標準偏差を図9に示す。なお、グラフの横軸の「○30 静」などの表記は「タイルの形が丸、一辺30個、静止状態」を意味している。

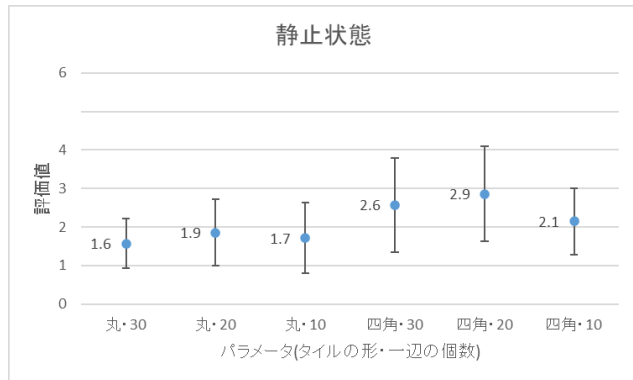


図9 静止状態における評価の平均値と標準偏差

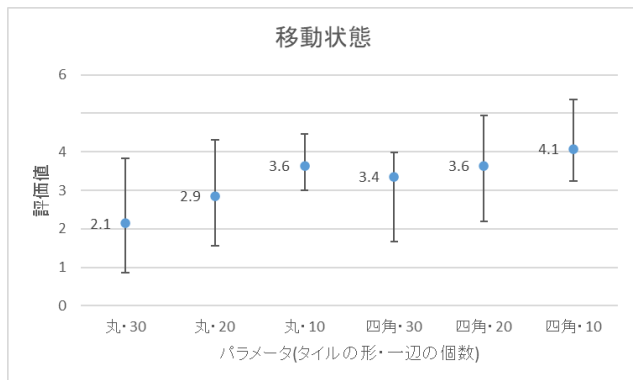


図10 移動状態における評価の平均値と標準偏差

3.4 考察

図9, 10より、評価値の振れ幅が大きいですが、平均値で見るとタイル模様としては丸より四角の方が、タイルの一辺の個数は少ない方が、凹み効果が高い傾向が見てとれる。タイル模様については、丸では黒の背景がタイル同士の隙間から見えるため、凹み表現による間隙の変化がわかりにくかったのではないかと推察する。一方、四角はタイルが隙間無く敷き詰められていたため凹み表現による変化が視認しやすくなったことから効果が高い傾向にあったと考える。

タイルの一辺の個数について、少ない(タイルが大きい)ときの方が、凹みを表現する際のタイルの大きさ変化の割合が大きくなるので模様の変化をより感じ取ることができたのではないかと考える。また、図9と図10を比べると静止状態より移動状態の方が明らかに効果が高いが、これは、本実験で使用したタイル模様表現では、移動状態では変化したことが視認されるが、静止状態では変化が起これないため気づきにくかったためと考える。

4. 評価実験2(硬さパラメータ調査)

評価実験1では押さえられるとある程度凹みが出る関数を固定、すなわち視覚上の硬さを固定していたが、次にこの硬さを変えた際に利用者がその変化を感じ取ることができるかを調べた。被験者は評価実験1にも協力してもらった14人のうちの5人の男女である。

4.1 実験条件

被験者には前述の実験同様机の前に起立してタイル模様を見下ろす姿勢になってもらった。評価は、前述の実験で最も評価の高かった四角10x10の移動状態において行った。タイルの硬さは評価実験1でも設定した0.5を基準として、その基準より柔らかい表現である0.3、基準より硬い表現である1.0の3種類である。

4.2 実験の評価方法

被験者には前述の3種類のパラメータ組み合わせ毎に凹み表現を観察してもらい、硬さの変化を(1: ほぼ感じない, 2: あまり感じない, 3: 少し感じる, 4: 感じる, 5: よく感じる), の5段階から最も近い評価値を選んでもらった。

4.3 実験の手順

評価方法は評価実験1と同じであるが、本実験では凹み表現を物体ではなく、被験者本人の指をタイル模様上で動かして評価してもらった。これによりただ見るよりも直感的に凹み表現を観察してもらえたと考えた。ただし、上述の物体検出のアルゴリズム下で実行するために、指に物体検出色と同じ色紙を付けることで、指を動かしても検出できるようにした。実験手順は次の通りである。

- ① 硬さ0.5の設定で評価実験1同様の評価をしてもらう。
- ② 被験者が指を動かしている最中に硬さを0.3に変更し、硬さ0.5と比較して柔らかくなったように感じたか聞く。硬さの変更は0.5→0.3→0.5→0.3のように2回繰り返す。
- ③ 硬さ1.0に対しても同様に行い、硬さ0.5と比較して硬くなったように感じたかを聞く。

4.4 実験結果

実験結果の平均値と標準偏差を図 11 に示す。

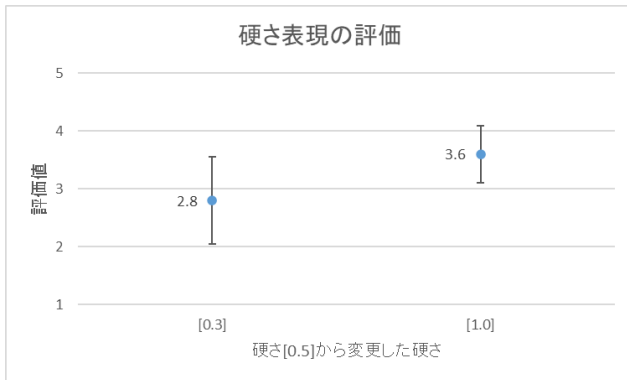


図 11 硬度表現の評価の平均値と標準偏差

4.5 考察

図 11 から、基準より柔らかい表現に変化させたときよりも硬い表現にしたときの方が、硬度表現の変化を感じる評価が高かった。また、被験者数名からは硬度 0.5 と 0.3 の比較の際、0.5 から 0.3 に変更したときより 0.3 から 0.5 に変更したときの方が硬度の変化を感じたというコメントももらった。このことから、変化の方向で評価に違いがあり、より硬い表現に変えたときの方が硬度の変化を感じる傾向にあり、それも硬度の値が大きいほど感じやすいことが見てとれる。これらの理由については評価サンプル数が少ないことと、硬度変更の方向性を分けなかった実験設定にも課題があり、明確なことは現段階では言えない。さらに、今回指を移動させて凹み具合の変化を観察することで硬い／柔らかいを聞いたが、変化の度合いは感じて、硬い／柔らかいという概念の感覚に直結しにくかった可能性がある。硬度の変化を感じてもらうには、本来なら指で押す・離すをやってもらって聞いた方が直感しやすかったのではないかと指摘もある。しかし今回の実験では、人の指も置く物体に対しても色で検出したことから、同じ場所での押す・離すを検出することができない方法であり、それを検出するには別の仕組みが必要になる。

5. おわりに

本稿では、机上に投影したタイル模様が、置いた物体によってあたかも凹んでいるように見える様子を、タイル模様を変形させることで実現した。また凹み表現の効果が高いパラメータの組み合わせを調べ、四角い大きめのタイルの効果が高いことがわかった。さらに硬さを変えるパラメータを操作して、硬さ／柔らかさを感じ取れるかを調べる実験も行い、大まかな傾向はつかめたものの、パラメータを調節して硬さをコントロールするには、評価が不十分であった。

今後、各種条件をさらに調整して効果を検証し、凹みの感じ方のコントロールができるように改善していきたい。また、今回は机上という設定にしたが、スケールアップして床を題材にすることで、より体感的でインタラクティブに変化する疑似的な体験を作り出せればと考えている。

文献

- [1] 毘沙門堂公式 Web ページ, 動く襖絵, <http://bishamon.or.jp/fusumae.html>
- [2] 歩道が異次元になる「3D チョークアート」11 選, HUFFPOST:https://www.huffingtonpost.jp/2014/06/02/3d-chalk-art_n_5429708.html
- [3] 吹上大樹, 河邊隆寛, 西田眞也, 変幻灯----錯覚を利用した光投影による実物体のインタラクティブな動き編集---, 情報処理学会研究報告, Vol.2017-CVIM-206 No.8.
- [4] 竹中雄亮, 外村佳伸 : Bending Desktop:物を載せると凹む机. 情報処理学会シンポジウムインタラクション 2022, インタラクティブ発表, 1D-18, 2022.