

安価で実装可能なシングルタッチ機能を実装した アミッドスクリーンの提案

玉本孝哉¹ 森木臣悟¹ 米澤朋子¹

概要：空間投影技術「アミッドスクリーン」[1]に深度のあるシングルタッチセンシング機能を実装し、その特性に適したコンテンツを制作した。網戸は柔らかく可塑性があり、押し込んだ位置に縦横の張力変化が発生するため、張力センサを自作し縦横各方に各複数個配置することで押し込み位置と深度を推定した。また、センサの値から安定的に位置や深度を推定する手法をあわせて検討した。この提案デバイスの特性に対し、地中を段階的に提示するコンテンツを表示させた。

1. はじめに

近年、専用の透過スクリーンや霧などを用いた空間投影技術が発展している。この技術の廉価一般化技術としてアミッドスクリーン [1] がある。これは専用の透過スクリーンの代わりに網戸の網にプロジェクタで映像を投影することで、安価に空間投影が実現できる技術だ。また、類似技術のポリッドスクリーン [2] があり、網ではなく農業用ポリエチレンフィルムを使用する。これらの技術は主に動画プラットフォームであるニコニコ動画や音楽ライブで Miku Miku Dance (MMD) を用いて制作された 3D アニメーション動画を投影するために使用されている。我々はここにタッチ機能を追加することによって、様々な分野での表現の幅を広げることができると考えた。例えば、Human Agent Interaction (HAI) の分野に応用することによって、ユーザーによるエージェントへの接触や、デバイスから現実に移動する表現などが可能になる。前述のとおり、アミッドスクリーンのコンセプトは空間投影の一般化技術であるため、シングルタッチ機構もできる限り安価で簡素なものを開発した。

2. 関連研究

2.1 透過スクリーンのタッチに関する研究

アミッドスクリーンに類似する透過スクリーンに両面タッチ機能を実装した研究 [3] がある。これは深度センサの一種である Kinect をスクリーンの側面に設置することで両面タッチの検出を実現しているが、センサから離れた箇所の検出精度が低いことが改善点として挙げられている。

2.2 アミッドスクリーン

アミッドスクリーンに適した網戸用ネットとしては、メッシュが多く網の色が灰色であると映像が鮮明に観えることが示された [4]。アミッドスクリーンは二種類の投影方式 [4] がある。1つ目はスクリーンの背面からプロジェクタで投影する透過方式であり、スクリーンとユーザの位置により光源が直接目に入る可能性があることが欠点として挙げられている。2つ目は通常のプロジェクタの使用方法のようにスクリーンに投影する反射方式であり、スクリーンを透過した光が背面の壁等に反射しゴーストとして投影されることが欠点とされている。

アミッドスクリーンを利用したシステムとして、アミッドスクリーンのデジタルサイネージのような広告活用 [5] がある。前節で述べた反射方式でアミッドスクリーンのシステムを構築し、東京スカイツリーの宣伝映像を表示している。

誕生した瞬間に仮想的な両親や医療従事者が祝福する様子をアミッドスクリーンに投影するシステム [6] では透過性のみ活用されているとも言える。これに対し、我々は 3DCG で制作したキャラクタを投影し、タッチの位置や深度に応じた触れ方を再現したいと考えた。

3. 提案システム

アミッドスクリーンの Web ページ [1] では、本来は網をフレームに固定するために両面テープと結束バンドを使用しているが、本提案ではタッチ検出のために糸を用いてフレームと網を固定した。この固定方法で網を押下すると付近の糸に張力がかかる。この張力を検出することによって、ユーザがタッチした座標を取得した。また、この張力

¹ 関西大学 総合情報学部, Kansai University, Faculty of Informatics

の変化を取得するために我々は張力センサを制作した。プロトタイプとして制作したシステムは4辺のうち2辺に張力センサをそれぞれ11個ずつ設置し、センサの糸で一辺100mmの正方形の網を固定した。また、残りの2辺はフレームと網を糸で固定した。

3.1 張力センサ

張力センサを制作するにあたって、市販されているBカーブのスライドボリュームを使用した。この部品はノブ部分をスライドさせることにより、電圧降下量を線形的に変化させることができる。この特性を利用し、ノブ部分を圧縮バネと糸を固定することで、糸にかかる張力に変化があった際にノブがスライドするようにし、張力を取得でき

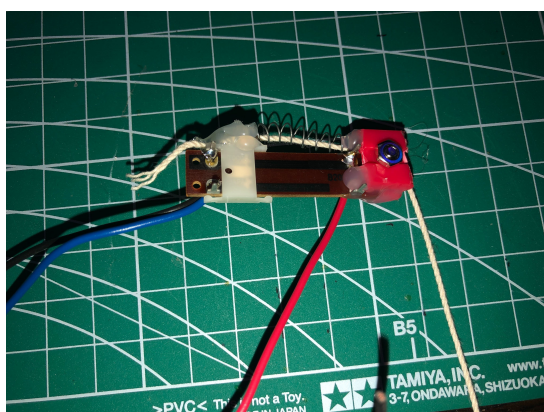


図1 張力センサ

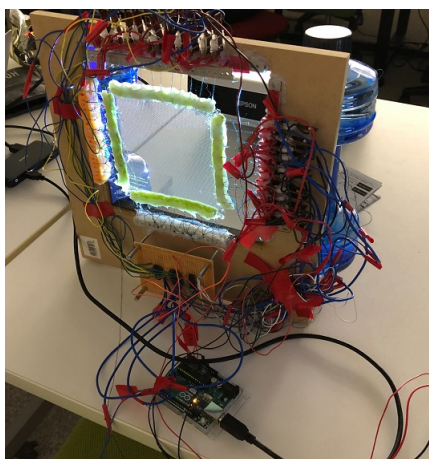


図2 システム構成写真

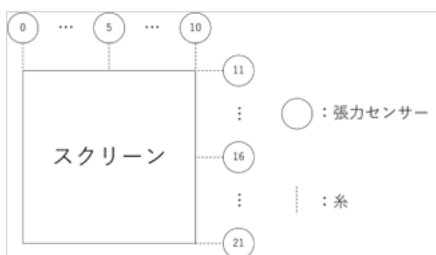


図3 スクリーンと張力センサの固定イメージ図

るセンサ（図1）とした。

3.2 システム構成

本節では、前述のシステム構成をより詳細に説明する。まず、張力センサを固定するフレームには300×300×12mmのMDF(Medium Density Fiberboard)の合板に、180×180mmの正方形の穴を開けたものを使用した。フレームの中心にスクリーンが位置する必要があるため、両端に40mmの間隔を空け、張力センサの糸が10mm間隔になるよう張力センサをホットボンドでフレームに固定した。張力センサを固定した向かい側のフレームには、糸を固定するための直径3.0mmの穴を張力センサの糸と同様の間隔で開けた。張力センサの糸の高さに合わせるために同間隔で穴が開けられたABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene)樹脂の板を穴に合わせて複数枚ホットボンドで固定し、穴に糸を括った。

次に、スクリーンについて説明する。スクリーンにはポリプロピレン製、灰色、24メッシュの網戸用の網を使用した。これを120×120mmの正方形に切り出し、20×100mmのフェルト生地を各辺に挟み込むようにホットボンドで固定し、これをスクリーンとした。スクリーンのフェルトに10mm間隔で印を付け、対応するフレームの糸を裁縫用の針を用いてフェルトに通した。そして、糸の長さが30mmになるようホットボンドで固定した。

最後に張力センサの値の取得について説明する。張力センサの値取得とタッチ分析を行うコンピュータへの送信にはArduino UNO R3(以下, Arduino)を使用した。Arduinoはセンサの電圧降下量を取得できるアナログ入力ピンが6つあるが、本システムは22個の張力センサを使用しているためアナログ入力ピンが足りない。この問題を解決するために8チャンネルのアナログマルチプレクサを3つ使用した。これにより、それぞれ3つのアナログ入力ピンとデジタル入出力ピンでセンサの値を24個まで取得することができる。Arduinoで取得した張力センサの値をシリアル通信で送信し、Pythonで受信することで以降の節の分析を行った。システムの外観を図2に示す。

3.3 タッチ検出に向けて

図3で示したセンサの番号をnとする。タッチの検出を開始する前に各センサの値を10回ずつ取得し、それぞれの平均値を μ_n とする。そして、現在のセンサの値を x_n とすると、タッチの有無によるセンサ変化量 dx_n を以下のように表せる。

$$dx_n = x_n - \mu_n \quad (1)$$

この dx_n を中心にタッチ検出を行った。

3.4 張力センサの個体差への対応

本システムに使用した自作張力センサは糸の張力変化による電圧降下量の個体差が大きく、設置の仕方にも影響を受ける。スクリーン上の異なる場所を同じ力で押下した場合でも、各センサで同量の変化量が取得できるとは限らない。この点の解決方法として数値的処理を行うために正しい変化量を仮定した。タッチする場所に近いセンサほど変化量が多い。よって一本指でスクリーンを押し込むシングルタッチでは、タッチ箇所に最も近いセンサが頂点となる曲線を描く（例：画面の中心（図3の5,16センサ周辺）をタッチした際のx軸センサ変化量は図4のような釣鐘状の分布になると予想）。

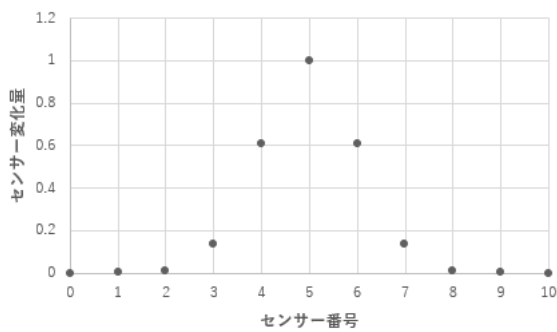


図4 スクリーン中心部をタッチした際のx軸のセンサ変化量予想

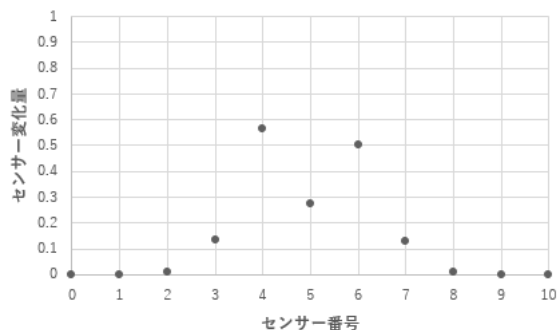


図5 張力センサの個体差が反映された例

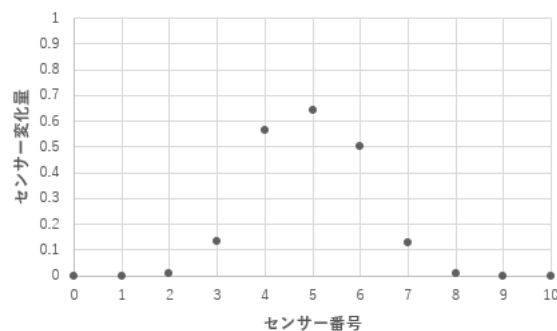


図6 個体差緩和処理を行った例

この予想に基づき、タッチにより得られたセンサ変化量 dx_n を補正する推定変化量 dx'_n を以下のように定めた。

$1 \leq n \leq 20$ かつ $dx_n < dx_{n-1}$ かつ $dx_n < dx_{n+1}$ の場合

$$dx'_n = (dx_{n-1} + dx_n) \div 2 \times 1.2 \quad (2)$$

それ以外の場合

$$dx'_n = dx_n \quad (3)$$

図5にこの個体差緩和処理を行った結果のグラフを図6に示す。5番のセンサが最大値になっており、推定に近い形状を示している。

3.5 タッチ検出方法

前節で算出した推定変化量 dx'_n を基にシングルタッチの検出を行う。シングルタッチは、推定変化量 dx'_n に対し定められた閾値を超えた場合に検出される。現実装では、この閾値を暫定的に20に設定した。

次にタッチ座標の算出手法について説明する。「図3におけるセンサ番号0はx座標0に割り当てる。センサ番号1はx座標100に割り当てる。…センサ番号21はy座標1000に割り当てる。」といった形式で各センサとそれに対応するx,y座標を割り当てる。この際にタッチ座標を連続的に検出するために、割り当てた座標値と推定変化量を用いて3次のスプライン補間を行った。ここで取得できた値の中の最大値をとる座標をタッチ座標とした。これをy座標に対しても同様に行う。

また、スクリーンを押し込む強さ（深度）を推定変化量の総和 dz を基に算出する。

$$dz = \sum dx'_n \quad (4)$$

スクリーンを同じ強さで押し込んでも、同量の推定変化量の総和が得られないことがシステムの構造から予想される。そのため、タッチの有無の判別に用いたように、x段階の閾値を設定することで深度を数段階に分けて検出するようにした。

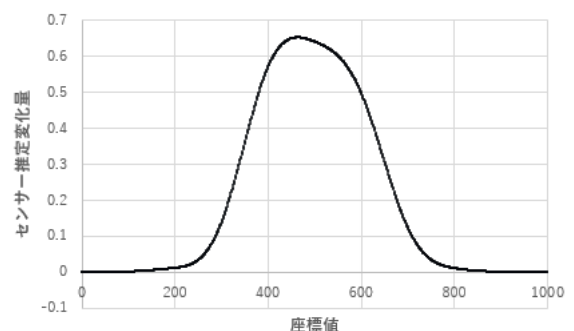


図7 3次のスプライン補間版センサ値群

表 1 以前の推定変化量

記号	意味
dx'_n	現在のセンサの値で算出した n 番目のセンサの推定変化量
dx'_{n1}	dx'_n に対して 1 つ前に取得したセンサの値で算出した n 番目のセンサの推定変化量
dx'_{n2}	dx'_n に対して 2 つ前に取得したセンサの値で算出した n 番目のセンサの推定変化量
dx'_{n0}	推定変化量の変化を強調した n 番目のセンサの補正推定変化量

3.6 スワイプ検出手法

本節ではスクリーン上を押下したまま移動する動作、いわゆるスワイプの検出方法について説明する。前節のタッチ検出手法でもスワイプは僅かに検出できていたが、座標が飛び飛びに反映されてしまう。そのため、より滑らかに補正できる方法を提案する。まず、Arduino のループ処理でセンサの値を取得しているのに対して、以前のループに算出した推定変化量と現在の推定変化量の差を強調して検出に反映する必要がある。そのため、表 1 のように以前の推定変化量を定めた。

前述の通り、センサの変化を強調するために補正推定変化量 dx'_{n0} を以下のように定めた。

$$dx'_{n0} = dx'_n \times 0.7 + (dx'_n - dx'_{n1}) \times 1.5 + (dx'_n - dx'_{n2}) \times 3.5 \quad (5)$$

各項での重みづけはセンサの特性や設置方法に依存するため、本システムに合わせた値となっている。現時点では本システムに合わせて暫定的に定めた。ここで得られた補正推定変化量 dx'_{n0} を前節のタッチ検出における推定変化量 dx'_n と同様に処理することで、タッチと同時にスワイプも検出できる。

4. デモシステム

我々は本システムにおけるスクリーンの押下量やスワイプを用いたコンテンツの一つとして、仮想的な地層を観察できる教育用コンテンツを制作した。ユーザがタッチを行っていない箇所は地表の画像が表示され、タッチが行われている箇所のみ地中の画像が表示される (図 8)。地中の画像は 3.4 節で求めた押下の深さ (dz) を用いて算出した 3 段階の深度によって切り替わる (図 9, [7], [8], [9], [10], [11])。地中に配置した土器や化石は深さが深くなるほど古い時代のものを配置し、時代の流れを感じ取れるようにした。これにより、タッチ位置が同じでも、スクリーンの押し込み具合によって観察できるものが変化する。

動作デモ予備実験では、同じ場所でも深度によって表示される画像が異なることが体験者に興味を与え、他の化石はないか探るなど、能動的にコンテンツと接する姿がみられた。

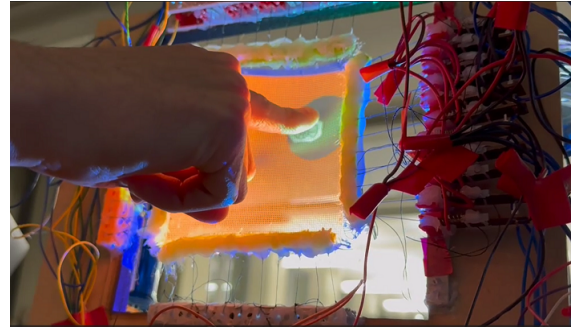


図 8 体験者がコンテンツに触れている様子

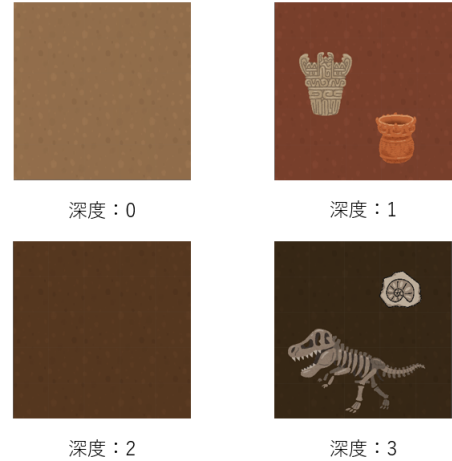


図 9 コンテンツに表示する画像一覧

5. おわりに

本研究では、空間投影技術であるアミッドスクリーンにシングルタッチ機能とスワイプ機能を付与したシステムを提案した。深度センサを用いる手法 [3] とは異なり安価にタッチ機能を実装することができた。

今後の展望として張力センサに張力を制御するためのアクチュエータを搭載し、投影するコンテンツによってスクリーンの硬さを変化させたり、歪ませたりする機能を実装予定である。

謝辞 本研究は科研費 23K11278, 23K11202, 22K19792, 21K11968, 19K12090, 2023 年度関西大学若手研究者育成経費の助成の一部を受け実施した。

参考文献

- [1] 青木敬士. 【アミッド P】アミッドスクリーン研究室. <http://textalk.moe-nifty.com/>. (参照日: 2023-12-18).
- [2] ポリッドスクリーン. <https://polidscreen.com/>. (参照日: 2023-12-18).
- [3] 小山雄大, 井上亮文, 星徹ほか. 透過スクリーン側面からの深度情報を用いた両面タッチパネル化システム. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), Vol. 2014, No. 41, pp. 1-6, 2014.
- [4] 清水共. 投影ディスプレイ環境の構築. 香川高等専門学校研究紀要, Vol. 4, pp. 135-139, 2013.

- [5] 山本建太, 伊藤弘樹, 菊池司. アミッドスクリーンを用いたプロジェクションマッピングによる宣伝広告の提案. 画像電子学会研究会講演予稿 画像電子学会第 270 回研究会講演予稿, pp. 207-209. 一般社団法人 画像電子学会, 2014.
- [6] 木村正子, 藤井綺香, 星宏侑, 田丸黎, 宮内涼将, 朝倉一希, 鈴木章大, 坪井理人. Re: born~ 生まれる体験出産 vr~. 第 24 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2019.
- [7] いらすとや. 縄文土器のイラスト. https://www.irasutoya.com/2014/09/blog-post_260.html. (参照日: 2023-12-18).
- [8] いらすとや. 火焰土器のイラスト. https://www.irasutoya.com/2017/05/blog-post_285.html. (参照日: 2023-12-18).
- [9] いらすとや. 恐竜の化石・骨格標本のイラスト. https://www.irasutoya.com/2014/01/blog-post_9442.html. (参照日: 2023-12-18).
- [10] ねこ画伯コハクちゃん. アンモナイトの化石. <https://kohacu.com/20210125-kaseki/>. (参照日: 2023-12-18).
- [11] illustAC. イラスト素材: 冬の動物地面パターン. https://www.ac-illustr.com/main/detail.php?id=603393&word=%E5%86%AC%E3%81%AE%E5%8B%95%E7%89%A9_%E5%9C%B0%E9%9D%A2%E3%83%91%E3%82%BF%E3%83%BC%E3%83%B3. (参照日: 2023-12-18).