

リアプロジェクション方式の柔らかいテーブルトップ

Reflected Photoelastic Touch: Photoelastic Touch Sensing Technique for Rear Projection Table

久慈 拓也 佐藤 俊樹 徳井 太郎 小池 英樹*

Summary. 本論文では、リアプロジェクション式テーブルでの偏光と透明弾性体の光弾性を用いた新しいタッチスクリーン技術を提案する。我々は、これまで LCD とオーバーヘッドカメラを用いた光弾性によるタッチスクリーン技術を開発し、透明弾性体を用いたより立体的で柔軟なタッチスクリーンの実現を試みてきた。しかし、これまでのシステムではカメラをテーブル上部に設置するためオクルージョンの問題が発生したり、可視光による光弾性の観測を行っていたため、テーブルに表示する映像の影響を受ける問題があった。一方で、近年テーブル下部にカメラやプロジェクタを設置するリアプロジェクション式のテーブルトップシステムに注目が集まっており、テーブル下部からの接触検出技術が盛んに研究されている。

そこで本研究では、リアプロジェクション方式のテーブルトップシステムにおいてテーブル下部からの偏光を用いた光弾性による接触の検出を可能にする技術の開発を行った。これにより、従来の課題であったオクルージョンの問題や、映像の輝度の影響を受ける問題が解決され、システムのロバスト性を高めることができると同時に、他の様々な接触検出技術との組合せが期待できる。また、リアプロジェクション方式テーブルにおける柔軟な弾性体に対する接触の検出を可能にし、より柔軟で立体的な接触面の実現を可能にする。

1 はじめに

既存のタッチスクリーン技術にはまだ様々な課題が残されている。例えば、既存のタッチスクリーンは硬く、ユーザが指で触れた際にも硬い接触感しか得ることはできない。また、表面形状も平面的なものに限られているため、平面的なコンテンツしか実現できない点が挙げられる。[1] [2]

これらの問題を解決するために、我々は透明弾性体と光弾性を用いた接触検出技術 Photoleastic Touch [3] の開発を行ってきた。このシステムは、透明弾性体に対する接触を LCD の偏光と光弾性を用いることで検出することができ、弾性体の性質を活かした柔らかで立体的な接触面を持つタッチスクリーンを実現することができた。しかし、これまでのシステムではカメラをテーブル上部に設置するためオクルージョンの問題が発生したり、可視光による光弾性の観測を行っていたため、テーブルに表示する映像の影響を受ける問題があった。

そこで本研究では、テーブル下部にカメラや光源を設置するリアプロジェクション式のテーブルトップシステムにおいて、赤外線光源を用いた光弾性による接触の検出を可能にする手法を提案する。

2 原理

リアプロジェクション方式のテーブルにおいては、テーブルの下部にカメラ及び偏光光源を設置するため、弾性体を通った偏光を観測するためには偏光を一度テーブル面で反射させ、テーブル下部のカメラに返す必要がある。これを行うためには、偏光を崩さず反射することができ、かつ弾性体の変形に対しても柔軟なミラーが必要である。さらに、テーブル下部から映像の投影も行うためには、テーブル下部からの光の一部をテーブル上部に透過させる必要もある。そこで本研究では、弾性体に対してアルミニウム粉末を塗付することで弾性体上部をミラー化する手法を用いた。偏光は拡散反射では崩れてしまうが、アルミミラーによる反射では偏光の性質を保ちつつ反射させることが可能である。またミラーは柔軟であるため、弾性体の変形した場合でもミラーが崩れることはない。さらに、アルミニウム粉末の量を調節することで、一部を反射、さらに一部を透過させるハーフミラーを作り出すことが可能である。

本システムの接触検出原理を図 1 に示す。テーブル下部にある赤外線光源が発した光は、直前に設置された偏光板で偏光し透明弾性体に入射する。透明弾性体を通った偏光は透明弾性体の表面に設けたミラーにより反射され、再び弾性体を通りカメラ側の偏光板に到達する。

このとき、弾性体中を通過する偏光が弾性体の変形した領域を通った場合、その偏光は弾性体の光弾性により楕円偏光に変化する。一方で、変形の無い領域を通った場合、その偏光は同じ円偏光のままで

Copyright is held by the author(s).

* 久慈 拓也, 佐藤 俊樹, 徳井 太郎, 小池 英樹, 電気通信大学大学院 情報システム学研究科 情報メディアシステム学専攻

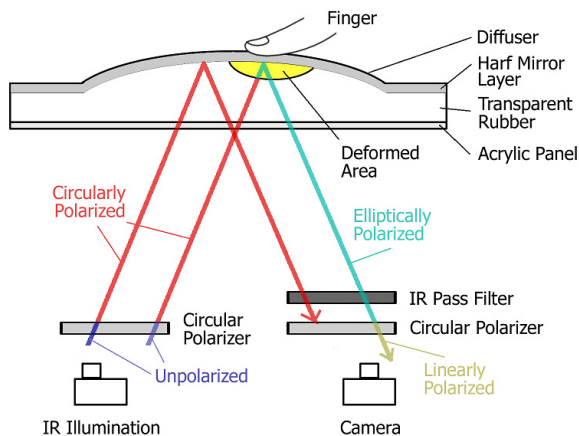


図 1. 原理図

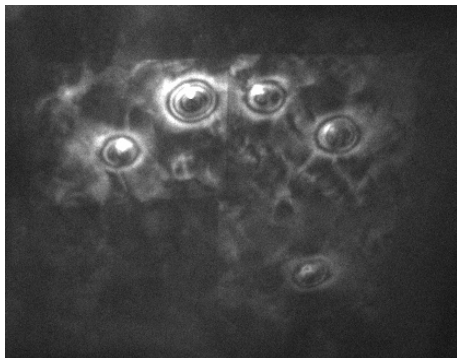


図 2. 光弾性の観測

ある．これらの光がカメラ側の偏光板に到達すると，光弾性により楕円偏光化した光はカメラ側の偏光板を通過することができるが，光弾性が起こらず，円偏光のままの場合は偏光板に遮断される．これにより，テーブル下部のカメラには弾性体の変形した部分のみ輝度が高く撮影される．またこのとき，光弾性による等色線と呼ばれる縞模様が図2のように観測できる．等色線の発生位置，大きさ，偏りにより接触位置と押下圧，及びその方向の検出を容易に行うことが可能である．今回の手法では，指の下に位置する弾性体の変形の様子も捕らえることが可能になった．

3 ハードウェア構成

本研究では，実際に提案手法により接触が検出可能なテーブルトップシステムのプロトタイプシステムを製作した．

テーブル下部にはカメラ，赤外線光源，及び映像投影用のプロジェクタを設置した．カメラは高速に赤外線の光弾性を認識するために Point Grey Research

社製 DragonflyExpress(VGA, 200fps) のグレースケールモデルを用い，レンズには赤外線を偏光し，直線偏光から円偏光にするために赤外線偏光板（美館イメージング LIR-40, 5cm x 5cm）と 1/4 波長板（美館イメージング MCR140U）からなる赤外線円偏光板を装着した．また今回，テーブル面に対して均等に赤外線を照射するために DLP プロジェクタ PLUS V-1080(輝度 800 ルーメン) を用い，映像表示用のプロジェクタは EPSON EMP-1715(輝度 2700 ルーメン) を用いた．

また，テーブル下部からの赤外線を反射，透過するためのハーフミラー層を設けた．今回の実装では，ハーフミラー層を形成するために，弾性体表面にアルミニウム粉末を薄く塗付した．アルミニウム粉末は偏光を正反射させることができ，また弾性体に塗付した場合にも弾性体の柔軟性を損なうことはない．さらに，テーブル下部からのプロジェクタ光をテーブル上部に対して拡散させることができるため，ディフューザとしての役割も兼ねている．

4 まとめ

本論文では，リアプロジェクション方式のテーブルトップシステムにおいて，光弾性を用いた接触を検出する手法の提案を行った．提案手法はテーブル下部に設けた赤外線光源からの光弾性による接触の検出を可能とし，リアプロジェクション式テーブルトップシステム上で様々な触覚フィードバックがあり立体的な形状が容易に実現可能なタッチスクリーンを実現した．この手法では，テーブル下部からの光弾性の観測を行うことで，これまでユーザの指の下に隠れていた弾性体の光弾性の認識が可能となり，より感度の高い接触及び圧力方向の検出が可能になった．

今後は様々な素材によるテストや等色線の解析による接触圧の実測及び検出精度の評価，さらにはアプリケーションの開発を行っていく予定である．

参考文献

- [1] Jefferson Y. Han. Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. In *UIST '05: Proceedings of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 115–118, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [2] Microsoft. Microsoft. Surface <http://www.microsoft.com/surface/>.
- [3] Toshiki Sato, Haruko Mamiya, Hideki Koike, and Kentaro Fukuchi. Photoelastictouch: transparent rubbery tangible interface using an lcd and photoelasticity. In *UIST '09: Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 43–50, New York, NY, USA, 2009. ACM.

未来ビジョン

ディスプレイによる情報の表示性能は、将来的には映像に加えて形状までも提示可能になると考えている。このようなディスプレイにおいて表示系と入力系が一致していること、つまり操作したい箇所を直接触れて操作することに対する需要が高まると容易に予測できる。また、ディスプレイがユーザに触れるといった双方向のインタラクションも十分に可能であると考えられる。本稿で紹介した透明弾性体を用いた接触検知技術はこのような立体的な形状を持つディスプレイに対するインタラクション技術の基礎になる。

現在のディスプレイ技術は、2次元の映像を提示するディスプレイの解像度が人間の目の分解能を超えるまで高精細に発達した。合わせて、コンピュータによって生成された映像も現実のものと区別がつかないほど高度になっている。そして、次世代のディスプレイとして空間中に映像の表示を行う立体ディスプレイの開発が盛んに行われ、一部では商用化も始まっている。さらに、ピクセルではなく体積をもっ

たボクセルを構成要素とするディスプレイの提案や、ディスプレイ面形状の動的な変化を行うものなど、立体形状の提示につながる研究も注目され始めている。

本研究の位置付けは、将来の形状提示可能なディスプレイに向けて、立体形状をもつディスプレイに対するインタラクション技術確立し、その有用性を示すことである。今後は立体形状をもつディスプレイ上で動作する実用的なアプリケーションとディスプレイ機構の開発を進めていく。

