

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700114

研究課題名(和文)形状・触覚特性が動的に変化する新しいタッチスクリーンの開発

研究課題名(英文)Interactive deformable surface with dynamic shape and stiffness control capability

研究代表者

佐藤 俊樹 (Sato, Toshiki)

電気通信大学・その他の研究科・助教

研究者番号：90619785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では動的に形状・表面剛性を変化させることが可能な新しい柔軟ディスプレイの試作開発を行い、ユーザと立体形状を持つデータとの新しい対話手法を研究した。このディスプレイは微小な粒子と減圧機構を組み合わせた機構で構成され、ユーザの入力動作やシステム側のプログラムに合わせて自由にディスプレイ表面の剛性を変化させることが可能であり、ディスプレイ形状の変形と固定を自由に切り替えて行うことが可能である。本研究では具体的に、本ディスプレイシステム上でのタッチ検出手法や剛性制御用インタフェース、またアプリケーションの開発等を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a shape deformable interactive surface with dynamic stiffness control capability. This display surface compose of small particle material and non-breathable and flexible cloth. We utilize particle jamming techniques to control stiffness of the display surface. We developed touch detection system using depth camera on the flexible surface and also developed two applications.

研究分野：ヒューマン・コンピュータインタラクション

キーワード：テーブルトップ 立体ディスプレイ タッチスクリーン 柔軟ディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

これまでのコンピュータのディスプレイ表面は文字情報やテキスト情報の表示が主であり、硬い平面で構成されていた。しかし、このような硬く、平面的な形状のディスプレイでは、立体的な形状を有するデータを表示する際に、立体感の欠如や、形状に手で触ることができないなど、様々な制限があった。またタッチスクリーンは、ディスプレイに表示された対象に対し「直接指で触れる」ことでの直接的な操作が可能であり、日常の様々な場面への応用がなされている。従来のタッチスクリーンでは、ディスプレイによる視覚情報の提示が主であったが、コンテンツに直接指で触れて操作を行うため、近年ではタッチスクリーンでの「触覚」による情報提示の可能性にも注目が集まってきている。従来、ディスプレイは平面的で硬い性質のものが一般的であったが、このようなディスプレイの場合、ボタンを押す・ドラッグする等の操作には適していたが、触覚情報としては「平ら」で「硬い」触感しか伝えることができず、触覚情報の提示には適していなかった。そこで従来の「平面的で硬いディスプレイ」を「立体的で柔らかく」し、豊かな触覚フィードバックを実現する様々な研究がなされている。最近の研究では、球面形状のディスプレイ上でのタッチ検出を実現した Microsoft の Sphere [1]や、柔らかな綿素材に対するタッチ入力を検出可能な杉浦らの FuwaFuwa センサー[2]等がある。また申請者らも、立体的に成形した弾性体素材を用いたタッチスクリーン技術を開発し、立体的で柔らかな弾性を持つディスプレイに対する、「摘む」、「引っ張る」等の接触入力を可能にする研究を行ってきた[3]。しかしこれらの「非平面的で柔らかい」タッチスクリーンでは、ディスプレイの材質として布や弾性体等を用い、これらの材質の持つ固有の触覚的特性を利用してディスプレイの触感に変化を与えていた。このため、触覚的特性が材質に依存し、固定的であるという問題があり、次のような課題が存在する

- (1). まず、例えば「布」や「弾性体」のような柔らかい素材を用いたタッチスクリーンの場合、ユーザが接触した際に指に柔らかい接触感を提示することは可能である。しかしこのようなシステム上では、逆に硬い接触感を提示することは困難である(これを行うためには、システム管理者がディスプレイの素材を硬いものに変更する必要がある)。
- (2). 次に 1 の理由のため、我々の身の周りに存在する、例えば人の皮膚・筋肉のように「硬さが動的に変化する物」に触れた際の連続的な触感の変化を提示することは困難である。
- (3). 入力動作の種類も限られてしまう。例えば「粘土」や「砂」を用いた柔らかかなデ

ィスプレイの場合、ユーザによる「動的なディスプレイ形状の変形」が可能である[4]。しかしこのような柔らかかなシステム上では、従来のタッチスクリーンの入力動作のような指で「表面を強く押す」、「表面をなぞる」等の入力動作は形状の不意な変形を生じさせてしまう。そのため、変形とタッチ入力を同時に用いることは困難である。

このような従来システムの制限を解決したタッチスクリーンを実現するためには、「形状」・「軟らかさ」等の特性を動的に変化させることが可能な新しいディスプレイが必要であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究で行ったことは、触覚特性を自由に動的に変化させることができる新しいディスプレイの実現と、このディスプレイを用いたタッチスクリーンの実現、さらにこれらを用いた新しいインタラクションの提案である。本研究が提案し実現を目指す新しいタッチスクリーンシステムは、次のような面白い特徴を持つ。

- (1). ディスプレイのハードウェア構成(表面材質等)を変更することなく、システムもしくはユーザが任意のタイミングで、即座にディスプレイの軟らかさを変化させることが可能である。ディスプレイの状態は、大きく分けて「軟らかい」状態と「硬い」状態の2つの状態があり、提案システムではこの2状態間を無段階に変化させることが可能である。
- (2). まず「軟らかい」状態では、ユーザが手で容易にディスプレイの形状を変形させることが可能である。また軟らかさも「布のように滑らかな状態」から「粘土のように展性を持つ状態」等の複数の状態間を自由に変化させることが可能である。
- (3). 一方、「硬い」状態ではディスプレイは完全に硬化し、外部から力を加えた際も形状はそのまま維持される。そのため従来のタッチスクリーンと同様の「指で押す」、「表面をなぞる」といった外部から力を加える入力動作を固定された形状に対して用いても、形状が変化してしまったりはしない。

本研究では、まずこのような特徴を持つディスプレイを、後に詳しく述べる「粒子と減圧機構」を用いて新たに開発する。次に、このディスプレイ上でのタッチスクリーン技術を開発し、これらを利用した新しいインタラクションを可能とする様々なアプリケーションの開発を行った。また、本機構を発展させた、形状変化を自動的に行うことが可能なディスプレイ機構の開発を行った。

3. 研究の方法

本研究では、提案システムを実現するうえで次のような技術に着目した。

発泡ビーズのような細かな粒子を伸縮性のあるラテックス等の素材で密封すると、柔らかいクッションに似た性質を示す。このときクッション内の粒子と粒子の間には空気が存在するが、この空気を徐々に抜いていくと、クッションは徐々に硬くなっていき、内部が真空状態に近くなるとクッションは完全に硬化し形状も固定される。この技術は、「床ずれ防止マット」や「ロボットハンド」等に応用されている技術であるが、我々はこの技術の次のような利点に着目した。

- (1). クッションの内部を減圧するだけで、布や粘土のような様々な柔らかさを作り出すことが可能である。これを利用することで、瞬間的にかつ無段階に、ユーザやシステムが任意のタイミングでディスプレイの柔らかさを変化させることが可能である。
- (2). また内部を真空に近づけると完全に表面を硬化させる事ができる。
- (3). さらに、クッションは非常に細かい粒子から成るため、表面の形状解像度が高く、従来同様の滑らかなディスプレイ面が実現できる。

本研究では、この剛性制御技術をプロジェクション式のディスプレイサーフェスに応用し、柔らかさが可変なタッチスクリーンのプロトタイプを開発した。そしてこのプロトタイプシステムを用いて剛性可変要素を持つディスプレイ上での入力手法の検討や、剛性可変要素を活かしたインタラクション要素の検討を行った。本研究の期間は3年間であり、これらの研究を、(1). 剛性可変要素を持つディスプレイのプロトタイプシステムの開発、(2). プロトタイプシステム上でのアプリケーションの開発及び周辺技術の開発、(3). 本研究を発展させたシステムの開発の3つのステップで研究を行った。具体的な研究方法は以下の通りである。

- (1). まず、提案システムを実現するために粒子の素材、スクリーン材質の検討を行う必要があり、これらの素材を用いた圧力制御が可能なディスプレイユニットを試作した。次に、このディスプレイユニット内の圧力を即座に制御可能な圧力制御機構を開発も必要であり、これを開発した。また、ディスプレイユニットへの映像のプロジェクションに加え、ディスプレイをタッチスクリーン化させるために、ディスプレイ上でのユーザの入力を検出する必要がある。この映像投影と入力動作検出には、ディスプレイユニット外部にプロジェクタ・カメラユニットを取り付けて行うこととし、カメラを用いたタッチ検出手法を開発した。
- (2). (1)で開発したディスプレイを用いたアプリケーションの開発を行うための周辺技術の開発を行った。まず、ディスプレイ表面の硬さ(剛性)は必ずしもディスプレイの内部圧力とリニアに対応し

ているわけではないことが予想される。そのため、圧力の制御をユーザが直観的に行うために、ディスプレイ内部圧力と表面剛性との関係を調査し、最適なユーザインタフェースを用意する必要がある。次に、ディスプレイ外部に設置したカメラを用いたタッチ検出手法について、実際にアプリケーション内で用いるためにその精度を評価した。また、立体形状を成形する際に便利な加工支援ツールの開発を行った。これらの知見をもとに、アプリケーションとして、立体形状のモデリング・テクスチャリングが同時に可能なCADアプリケーション等の開発を行った。

- (3). (2)の開発過程で着想を得た本研究の技術をベースとした新しい立体形状ディスプレイの試作開発を企業と共同で開始した。

4. 研究成果

本研究では、まず表面剛性を自由に变化させることができるディスプレイのプロトタイプシステムの開発を行った。研究の主な成果は以下の通りである。

- (1). プロトタイプシステムの開発
開発したシステムを図1に示す。

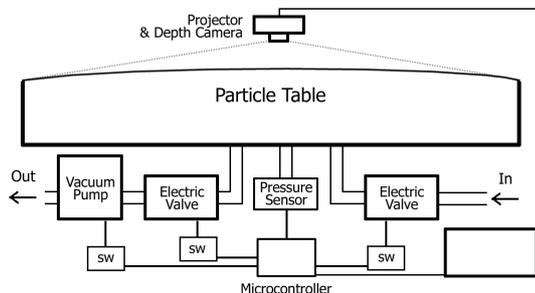


図1. システム構成

ディスプレイユニットには、直径1mmの発泡ビーズを裏地に薄いラテックス素材を張り付け気密性を高めた伸縮性の高い布で閉じ込めて密閉した。ディスプレイユニット内部の空気は真空ポンプや外気弁を接続することにより自由な圧力制御を可能にしてある。ディスプレイ上部にはプロジェクタおよび深度が計測可能なカメラを取り付け、映像のプロジェクションとユーザの入力動作の検出を可能にした。

(2). タッチ検出手法の開発

次に、(1)のプロトタイプシステム上でのタッチ検出アルゴリズムを開発した。ディスプレイの表面は柔軟であり、形状はユーザが触れることで変化してしまう。そのため、単純な深度計測によるタッチ検出手法は用いることができない。そこで本研究では、ユーザの手領域を検出し、手領域以外の領域の深度を毎フレーム計測し、手領域の深度との比較に用いることで、形状が常に变化するサーフ

エス上でのタッチ検出を可能とした。これにより、本ディスプレイをタッチスクリーン化することができ、プロトタイプアプリケーションの開発を可能にした。

(3). 剛性制御インタフェースの開発

次に、ディスプレイ内部圧力とディスプレイ表面剛性との関係を調べる実験を行った。この実験は、ディスプレイを指で押下した際のディスプレイ内部圧力とディスプレイ表面の変位との関係を調べたものである。結果を図2に示す。この結果から、減圧機構の限界である-18kPaまで減圧せずとも、-4kPa程度でディスプレイ表面はほとんど変位しなくなる事が明らかになった。

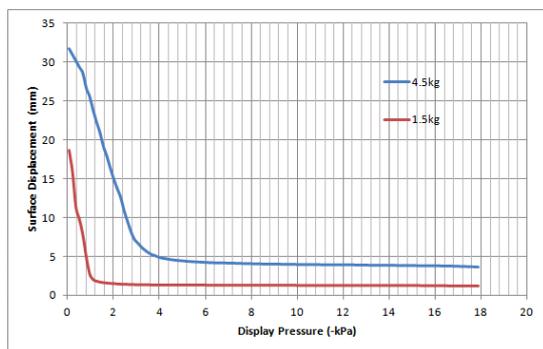


図2. 表面剛性と内部圧力の対応

これを基に、本研究ではディスプレイ表面の剛性を直観的に設定可能なスライダインタフェースの設計を行った。スライダには0kPa ~ -2.5kPaまでをスライダの0 ~ 88%までにリニアに割り振り、96%までを-4.2kPaまでに割り振り、残りを-18kPaまでに割り振ることにした。

(4). アプリケーション及び周辺技術の開発

本研究では、提案するディスプレイシステムを用いた2種類のアプリケーションの開発を行った。

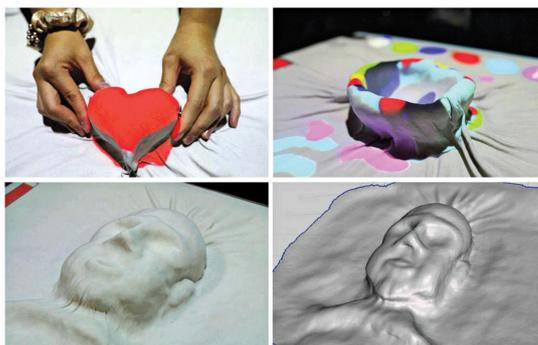


図3. モデリングアプリケーション

1つは、立体形状のモデリングとテクスチャリングを同時に可能にするCADアプリケーションである(図3)。柔軟なディスプレイ上では手で直接ディスプレイ表面を変形させることで形状の作成が可能である。しかし、形状を手で直接触って感じたり、色を塗ったりする作業は形状に直接手で触れる必要があり、不意な変形に繋がるため一旦形状を硬化させる必要があった。本ディスプレイでは

自由にディスプレイ表面の剛性を変化させることが可能であるため、変形動作と接触動作やペイント動作を自由に切り替えて行うことが可能になった。また、形状の土台部分を形作る場合は大きな変形が必要であり、ディスプレイ表面の剛性は低く設定する方が作業効率が高い。また形状の細部を形作る場合は、

剛性を高めたほうがより細かい形状を作ることが可能になる。このように、作業段階に応じた最適なディスプレイ剛性の設定が可能になった。

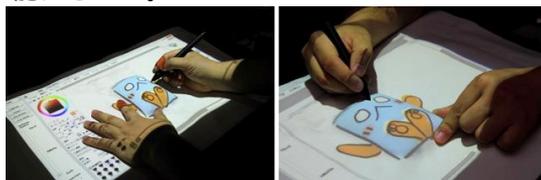


図4. ペイントアプリケーション

もう1つのアプリケーションは、ペイントアプリケーションである(図4)。このシステムは、厚さ1mm程度の薄いディスプレイユニットを用い、入力はタッチの代わりに電磁誘導式のペン型入力装置(ペンタブレット)を用いる。

このアプリケーションでは、ユーザが描いた絵に対してディスプレイ表面を変形させることで立体的な形状を付加することが可能になる。また、ユーザが選択したブラシツールの種類に応じてディスプレイの表面剛性が変化し、筆ツールの場合は柔らかな書き心地、鉛筆ツールの場合は硬い書き心地など、書き心地を変えることも可能にした。これらのプロトタイプシステムおよびそのアプリケーションは国際会議展示部門に採択され、高い評価を得た。また、美術館や科学博物館で一般向け展示を行うシステムも開発し、本システムの長期展示も可能になった。

(5). 応用技術の開発

本研究で開発した柔軟ディスプレイは、細かい凹凸形状や「くびれ」のあるオーバハング形状も容易に形作る事が可能である。これは従来の直動アクチュエータを用いたピン型の立体形状ディスプレイでは困難な表現であり、これを超越動的な形状変形が可能な立体ディスプレイの実現につながる技術であるといえる。そこで本研究では、提案した剛性可変ディスプレイシステムを拡張し、平面からより大きな形状への変形を可能とし、さらに自動的に形状を形作る機能を付加する試みを開始した。

まず本研究では、形状の高さに着目した。本システムでは、高さ15cm程度の形状が限界であったが、ディスプレイユニット内部のパーティクル素材の量とディスプレイユニット表面の布の表面積を増減させる機構を開発することで、平面からより高さのある形状への変形が可能なプロトタイプシステムを開発した。これにより、レリーフ状の2.5次元形状ではなく、形状の側面も表現可能に

なり、側面を利用した情報提示が可能となった。

次に本研究では、形状変形の自動化を実現するパーティクル量制御機構の開発を開始した。この開発は一般企業との共同研究と並行して行い、具体的な応用先を視野に入れた開発を進めている。

<引用文献>

[1] Benko, H., Wilson, A. D., and Balakrishnan, R., "Sphere: multi-touch interactions on a spherical display." ACM UIST2008 Symposium, 2008.10.

[2] Sugiura, Y., et al., "Detecting Shape Deformation of Soft Objects Using Directional Photorefectivity Measurement." ACM UIST2011 Symposium, 2011.10.

[3] Sato, T., Mamiya, H., Koike, H., Fukuchi, K., "PhotoelasticTouch: transparent rubbery tangible interface using an LCD and photoelasticity", ACM UIST2009 Symposium, 2009.10.

[4] Piper, B., Ratti, C., and Ishii, H., "Illuminating clay: a 3-d tangible interface for landscape analysis." ACM CHI '02.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Toshiki Sato, Jefferson Pardomuan, Yasushi Matoba, Hideki Koike, ClaytricSurface: Developing an Interactive Deformable Display with Dynamic Stiffness Control Capability, IEEE Computer Graphics and Applications, 査読有, Vol.34, No.3, 2014, pp.59-67.

〔学会発表〕(計2件)

Jefferson Pardomuan, Toshiki Sato, Yasushi Matoba and Hideki Koike, ClaytricSurface: Interactive Deformable Surface Display with Dynamically Controllable Softness, ITS2012 Workshop on Beyond Flat Displays: Towards Shaped and Deformable Interactive Surfaces, 査読有, 2012, (Online 4 pages document).

Kadri Rebane, Yasushi Matoba, Azusa Hakamatsuka, Toshiki Sato, Sachiko Kodama and Hideki Koike, Development of and experimentation on deformable three-dimensional figures by the use of polystyrene beads, a pressure sensor, and an air pump, Proc. of the 1st workshop on Smart Material

Interfaces: A Material Step to the Future, 査読有, 2012, Article No. 3.

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: ユーザインタフェース装置

発明者: 佐藤俊樹, 的場やすし,
小池英樹, 高橋宣裕

権利者: 電気通信大学

種類: 特許

番号: 2012-103478

出願年月日: 平成24年11月12日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 俊樹 (SATO Toshiki)

電気通信大学大学院情報システム学研究
科・助教

研究者番号: 90619785