

平成 30 年 6 月 18 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16036

研究課題名(和文) 剛性可変要素と体積可変要素をあわせ持つ柔軟形状ディスプレイの研究

研究課題名(英文) Shape changing display that can control surface volume and stiffness

研究代表者

佐藤 俊樹 (Sato, Toshiki)

東京工業大学・情報理工学院・助教

研究者番号：90619785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000 円

研究成果の概要(和文)：立体形状視触覚ディスプレイは、平面形状から2.5次元(レリーフ)形状への形状変形が可能であったが、従来の研究では変形量に大きな制限があり、高さ(側面)のある立体形状への変形が困難である問題があった。

そこで本研究では、これまで開発してきた粒子素材を密閉封入した動的剛性変化が可能なディスプレイシステムを拡張し、アレイ上に配置した小型シリンダ機構で内部粒子容量を増減させる機構を新たに加えることで、従来の2.5次元(レリーフ)形状よりさらに高さのある形状を作り出すことが可能な剛性可変ディスプレイを開発した。さらに、高さ(側面)を生かした立体的な情報提示の可能性を示すアプリケーションの提案を行った。

研究成果の概要(英文)：Previous shape changing display system can transform its shape of the display surface from full flat shape to 2.5-dimensional shape. However it is difficult to create three-dimensional shape with high vertical surface because a deformation volume of the display material is limited.

In this research, we focused on dynamic display volume control technique, and prototyped novel shape changing mechanism that can control stiffness and internal material volume by using an arrayed cylinder-piston volume control mechanism combined with a particle jamming technique. We also developed prototype applications that can utilize dynamic shape/volume changing display surface and also can utilize three-dimensional shape with high vertical surface.

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：柔軟ディスプレイ 立体形状ディスプレイ 触覚ディスプレイ タッチスクリーン

1. 研究開始当初の背景

これまで、コンピュータのディスプレイは「平面的で硬い表面」で構成されてきたが、これに「立体的で柔軟な性質」を持たせる試みがなされてきている[1]。ガラス等の硬い材質ではなく、砂や弾性体などの柔軟な材質をディスプレイの素材に取り入れ、サーフェスの形状を手で変形可能にしたり、タッチ入力時に軟らかな触覚フィードバックを提示したりすることが可能な柔軟ディスプレイの研究もなされてきた[2]。そのなかでも、本研究では「ディスプレイの変形しやすさ(剛性)」に着目し、これを動的に変化させることに着目した新しい柔軟ディスプレイの研究を行ってきた[3]。本研究がこれまで開発してきたシステムは、従来の砂や弾性体などの柔軟素材に直接手で変形を加える従来の柔軟ディスプレイと比較し、軟らかい「形状変形可能な状態」と硬い「形状変形が不可能な状態」を任意のタイミングで切り替えることが可能な独自の特徴を有する。これにより、従来は別々の環境で行われてきた「形状作成・編集操作」、およびその形状に触れることで入力に用いる「形状接触・入力操作」を同一のディスプレイ環境上で実現可能になり、これらを動的に行き来することでの新しいコンテンツとの対話が可能になった。

しかし、上述のシステムを含め従来の柔軟ディスプレイでは、素材を引っ張ったり引き延ばしたりすることで平面から立体形状を作り出していたため、素材の体積の制限から「変形可能な形状の高さが限られる(背の低い形状しか作成できない)」問題があった。また、変形動作をユーザが手で(手動で)行う必要があり、形状のシステム側による「自動的な変形」も不可能な問題もあった。

そこで本研究では、これまで研究を行ってきた上述の剛性可変要素を持つディスプレイシステムに対し、新たにディスプレイ自体の内部体積を動的に変化させる機構を付加した新しい柔軟ディスプレイ機構を開発し、従来の柔軟ディスプレイでは困難な「平面から高さのある形状への変形」要素と「自動的な形状制御」要素を持つ新しい立体形状ディスプレイを実現する機構の提案および試作開発を試みた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、コンピュータディスプレイに対し剛性可変要素および体積可変要素を加えることで、平面から立体形状への変形が可能な新しいディスプレイ機構を開発することである。これを行うことで、高さや形状を動的に変化させることができ、これを利用した立体感のある映像提示や動的に変化する触覚情報提示を実現可能である。また、従来の立体形状ディスプレイは困難であった 2.5 次元(側面のないレリーフ)形状を超える「側面を有する高さのある立体形状」を提示可能にし、形状の「高さ」や「側面」を用

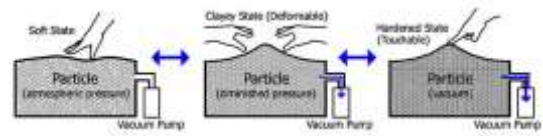


図1. ベースとなる剛性可変機構

いた情報提示手法についても、その可能性を示すことを目指した。同時に、提案する体積制御機構を小型化およびユニット化し、このユニットを多数連結させたディスプレイを開発することで、局所的なディスプレイ体積の増減を用いた「自動的なディスプレイ形状の変形」を実現する機構の開発を行った。

3. 研究の方法

これを行ううえで、本研究では初年度以前までに開発を行ってきた「微小粒子を密閉したプロジェクション式ディスプレイユニットと、その内部圧力を制御する機構を組み合わせた剛性可変ディスプレイ機構(図1)」をベースとし、この機構に、封入した粒子の容量を動的に増減させる機構を組み込む改良を行うこととした。

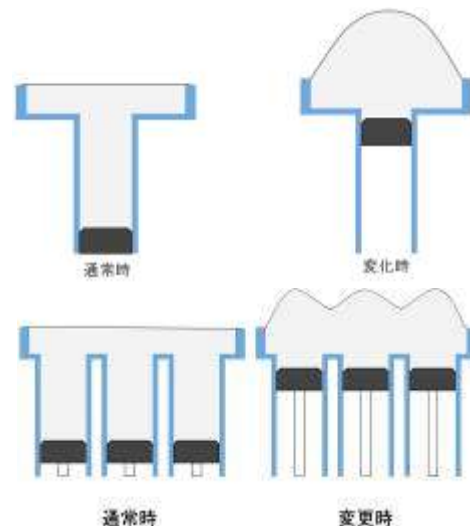


図2. 粒子増減機構(上)と複数ユニット化(下)

粒子の送り出しおよび格納機構にはピストンおよびシリンダ機構を用い、シリンダ内部の粒子をピストンで上部に押し出し、また内部に引き入れることで実現にする(図2(上))。これにより、ディスプレイ内部の気密を保ちながら、ディスプレイの体積を可変にし、より大きな形状を形作りことが可能になる。

さらに、このピストンユニットを小型化し、多数連結することでディスプレイの局所的な容量制御を可能にする(図2(下))。この局所的な容量の制御を利用することで、ディスプレイ表面に凹凸作成し、これをシステム側が自動的に行うことで自動的な形状変形を可能にする。

4. 研究成果

本研究ではまず初年度前半において、提案する粒子容量制御機構を実装するための実

装手法の検討・材料の調査を行った後、初年度後半および次年度にかけて実際に粒子量制御機構のプロトタイプ実装を行った。

まず粒子容量制御機構の実装においては、ステッピングモータおよび送りねじから成る直動アクチュエータを開発し、シリンダ内のピストンを上下動作させることとした(図3(左))。これにより、ディスプレイ内部の気密を保ちつつ、シリンダ内の粒子を上部に押し出すことが可能になり、ピストンを引き戻すことで粒子の格納も可能になった。

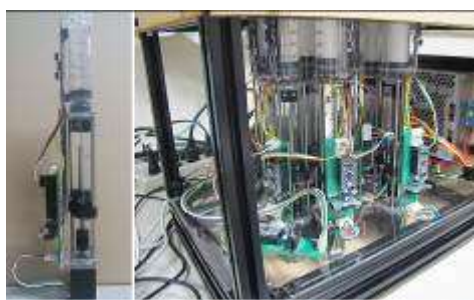


図3. ユニット単体(左)と連結ユニット(右)

次に、このユニットを複数台組み合わせた視触覚ディスプレイのプロトタイプの開発を行った。なお、プロトタイプを実装するにおいて、実際はユニットを多数実装し、大型のディスプレイデバイスを実現することが理想であるが、ハードウェア構成が複雑化することが予想され、ユニットの量産も困難であることから、本研究では最初の実装としてプロトタイプの実装規模を縮小し、ユーザが片手を上に乗せて操作することを想定した小型のディスプレイ装置として開発を継続することとした。

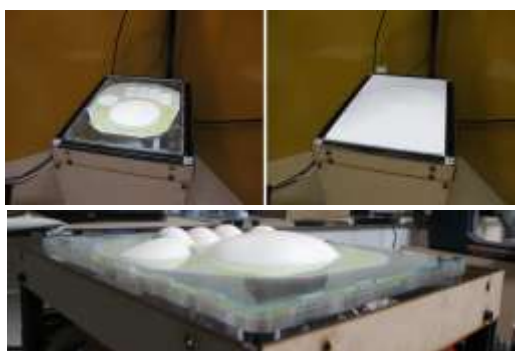


図4. 開発した装置(上)と表面形状の変化(下)

開発したディスプレイ装置では、片手5本の各指に対応した5個の独立したユニット(凹凸提示部)に加え、手の平部に対応した最密充填配置された7個のユニット群で構成されている(図4(上))。各ユニットは独立して粒子の送り出し量を制御可能であり、各指に配置したボタン状のユニットは独立して上下することで指に対して「高さ」情報を提示することが可能である。また手の平の下部に位置する7連ユニットでは7個のユニットを独立制御することで2次元的な凹凸形状を提示可能である(図4(下))。また、ディスプレ

イ全体にプロジェクタで映像投影が可能になっており、映像が投影されたディスプレイ表面の形状を変化させることで投影した映像に歪みを与え、立体感のある映像が提示可能である。

次に、本研究ではこのディスプレイ上で動作する2種類の異なるアプリケーションを開発した。1つは、7連ユニット群を用いた動的な形状変形制御を用いた、立体感のある映像提示を目指したアプリケーションである。このアプリケーションでは、映像が投影されたユニット表面の形状を動的に変化させることで、映像コンテンツの見え方を変化させることが可能になる。ここではコンテンツ映像として人の顔の投影を行い、目、頬、鼻、顎の部分に位置するユニットを独立して動かすことで表情を変化させる(図5(右))。



図5. 温調アプリ(左)と表情変化アプリ(右)

次に、ユーザの各指の下に位置する独立したユニットの高さ変化を用いて、ユーザに段階的な量の提示を行うアプリケーションを開発した。このアプリケーションでは指の下に位置するユニットでディスプレイ表面の高さの変化を作り出し、ユーザに知覚させることで視覚情報を用いない触覚による情報提示を行う試みである。ここでは例として、ユーザの指に対してディスプレイの盛り上がり量(高さ)を用いた室温の提示を行い、同時に静電容量式のタッチセンサを内蔵することで指によるエアコンの温度設定入力を可能にする片手入力デバイスを想定したアプリケーション開発を行った(図5(左))。なお、これらのアプリケーションは企業との共同研究において開発したものである。

最後に、以上の研究を行っていくうえで明らかになった課題と、今後の展望および関連して行った応用研究について述べる。まず今回実装を行ったような小型のディスプレイ装置では、ディスプレイ表面を構成する布の表面積が小さくなることから、布の伸縮量の限界量も小さくなってしまう問題がある。そのため内部素材の容量を可変にした場合でも2.5次元を超える「高さ(側面)のある形状」の作成が容易に行えるほどの変形量を得ることはできなかった。そのため、本研究においては当初想定していた高さのある立体形状への変形可能性や、側面のある立体形状に対する情報提示を活かしたディスプレイとの対話手法の調査が十分に行えなかった課

題がある。これを行うためには、ディスプレイ表面を覆う素材の表面積を動的に拡張可能にする機構が必要であり、今後開発した機構と組み合わせが可能な布の拡張機構の導入を検討していく必要がある。これをふまえ、本研究では、側面を有する立体形状ディスプレイについて、その利点を生かすインタラクション手法の研究を最終年度において追加で行った。特に高さのある形状をディスプレイにした際に発生する映像の遮蔽問題に着目し、これをユーザの移動やディスプレイの回転操作で解決する手法について検討した。今後は本研究で開発した動的変形能力を有するディスプレイと、側面に対する情報提示が可能なディスプレイの統合を目指した新しいディスプレイシステムの開発を継続し手行い、成果のまとめを行う。

<引用文献>

- ① Holman David, Vertegaal Roel, Organic User Interfaces: Designing Computers in Any Way, Shape, or Form, Communications of ACM, volume 51, No. 6, 2008, 48-55.
- ② Ben Piper, Carlo Ratti, Hiroshi Ishii, Illuminating clay: a 3-D tangible interface for landscape analysis, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2002, pp. 355-362.
- ③ Toshiki Sato, Jefferson Pardomuan, Yasushi Matoba, Hideki Koike, ClaytricSurface: An Interactive Deformable Display with Dynamic Stiffness Control, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 34, No. 3, 2014, pp. 59-67.

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 4 件)

- ① 池田 盛陽, 加藤 拓海, 佐藤 俊樹, 小池 英樹, 形状と剛性の動的変化が可能な 2.5 次元ディスプレイの開発, 第 20 回情報処理学会シンポジウムインタラクション 2016,
- ② 池田 盛陽, 加藤 拓海, 佐藤 俊樹, 小池 英樹, ディスプレイの表面形状と剛性の動的変化が可能なインタラクティブ視触覚デバイスの開発, 情報処理学会第 168 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究, 2016.
- ③ 東海 林和, 中村 俊勝, 三村 巧, 佐藤 俊樹, ユーザの自発的移動を促進させる 全周囲ディスプレイ, 日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ WISS2017, 2017.
- ④ 中村 俊勝, 伊藤 思音, 東海林 和, 田中 桂太, 佐藤 俊樹, 全周囲立体映像投

影を用いた新しい携帯ゲームデバイスの提案, 第 22 回情報処理学会シンポジウム インタラクション 2018, 2018.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 俊樹 (SATO, Toshiki)

東京工業大学・情報理工学院・助教

研究者番号: 90619785