

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24300045

研究課題名(和文)大型インタラクティブ・サーフェスのための入出力技術基盤

研究課題名(英文)Input and output technologies in large interactive surfaces

## 研究代表者

小池 英樹 (KOIKE, HIDEKI)

東京工業大学・大学院情報理工学研究科・教授

研究者番号：70234664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、テーブル型ディスプレイを代表とする大型インタラクティブ・サーフェスのための入出力技術基盤の開発を行った。具体的には、(1)透明弾性体によるサーフェスの立体化と歪み補正、(2)背面撮影型サーフェスの実現、(3)微弱電流を用いたアクティブ触覚フィードバック、(4)異種入力方式の統合を行った。(1)(2)では液晶ディスプレイとシリコンゲルを用いた立体ディスプレイにおける歪み補正手法を開発した。(3)では上記シリコンゲルを導電性メッシュで覆い、ユーザのタッチ位置に応じて微弱電流のON/OFFを制御した。(4)ではタッチ入力とジェスチャ入力を統合する手法を開発した。

研究成果の概要(英文)：In this work, we studied foundation of input methods for large interactive surfaces such as tabletop systems. We first developed a method for compensating distortion when we put transparent silicon gels on a LCD. Next we developed a system which provides active feedback to users when they touched on the silicon gels. Finally, we developed a method for remote-pointing using simple gestures and combined with touch-capable interactive tabletop systems.

研究分野：vision-based HCI

キーワード：インタラクティブ・サーフェス テーブルトップ ジェスチャ認識 光弾性効果

## 1. 研究開始当初の背景

近年、タッチパネル機能を備えた携帯電話やタブレット型端末が急速に普及している。その理由は画面に表示される情報に直接触れて操作するインタフェースが直感的だからである。このように出力デバイス（ディスプレイ）と入力デバイス（タッチパネル）が一体化したシステムをインタラクティブ・サーフェス（以後 ITS と略記）と呼ぶ。大型のものではテーブルトップ・システムや壁型ディスプレイがある。しかし、現在の大型 ITS は基本的に iPad のような小型 ITS を大型化しただけなので、次のような問題点がある。(1) 入出力が平面に限られる、(2) 触覚フィードバックの欠如、(3) タッチ入力のみ。

## 2. 研究の目的

本研究では我々が開発した透明弾性体を用いた入力手法を基盤として、これを拡張することで現在の ITS の問題点である立体タッチパネルとアクティブ触覚フィードバックの問題に取り組んだ。さらに、従来の ITS における異種入力方式の問題についても、これらを統合し大型 ITS の入出力技術基盤を構築した。具体的には以下を行った。

- (1) 透明弾性体によるサーフェスの立体化と歪み補正
- (2) 背面撮影型サーフェスの実現
- (3) 微弱電流を用いたアクティブ触覚フィードバック
- (4) 異種入力方式の統合

以下では、このうち(1)の歪み補正と(4)の異種入力方式の統合について述べる。

## 3. 研究の方法

### 3.1 歪み補正

透明物体の設置によって起こる映像の歪みはユーザの視点位置によって異なる。従って、LCD や通常のプロジェクタを使用した場合、ひとつの画素から全ての方向に対して同一の光線が出る。従って、ある一視点に関して映像の補正を行っても、それ以外の視点への補正は行えない (図 1)。このような複数視点への映像補正を同時に行うためには、各視点において異なる補正を行い、ひとつの画素から方向によって異なる光線を出さなければならない。そこで、本研究ではディスプレイ面から出射される光線方向の制御が可能な光線再生方式の裸眼立体ディスプレイを使用することで映像歪みの補正を行った。

図 2 に本システムのハードウェア構成を示す。光線再生方式のディスプレイ上にディスプレイ側の面が平面となるような透明物体を設置する。この透明物体が入力インタフェースとして機能する条件として透明かつディスプレイの偏光特性を崩さないものである事が

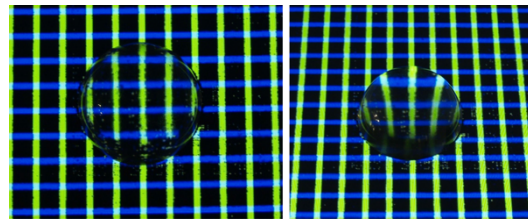


図 1

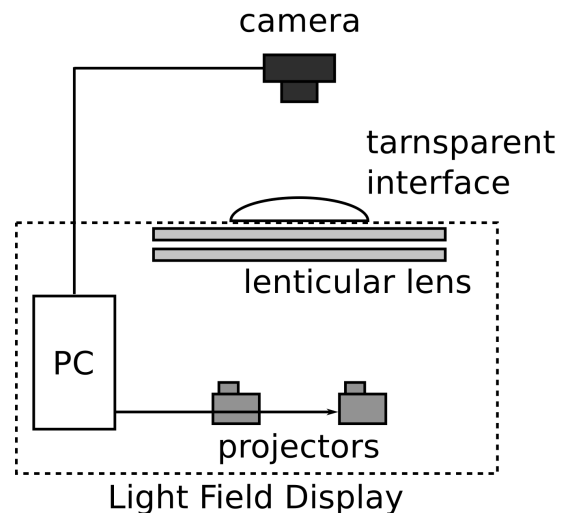


図 2

あげられるが、本研究ではさらに透明物体の形状以外の要因による映像の歪みを排除するために高透明度かつ滑らかな表面を持つものを採用した。

透明物体設置後にプロジェクタ光がどのような経路で計測用カメラに到達するかを計測するために、透明物体設置前後の光線情報をカメラで計測した。光線の計測ではプロジェクタでグレイコードパターンをx, y方向それぞれに表示することによって、プロジェクタの各画素にその位置が一意に特定可能なIDを振り分けた。裸眼立体ディスプレイを構成するプロジェクタの解像度がVGAであるためx, yそれぞれの方向について10bitでコード化を行った。

### 3.2 異種入力方式の統合

本システムでは、テーブル面の上方にカメラを設置し、テーブル全体を含む画像を撮影した (図 3)。撮影された手領域などを含むカメラ画像はリアルタイムに処理され、手の位置・指の開閉状態・指で囲まれた閉領域の面積情報がポインティング操作に利用される。なお、手の位置は指で囲まれた閉領域の重心を計算して求めている。

遠隔地に存在するオブジェクト(画像)の手元への引き寄せを例にとり、一連の操作の流れを図 4 に示す。まず、図 4 (a)に示すようにテーブル上で指をつまむとつまんだ位置に緑

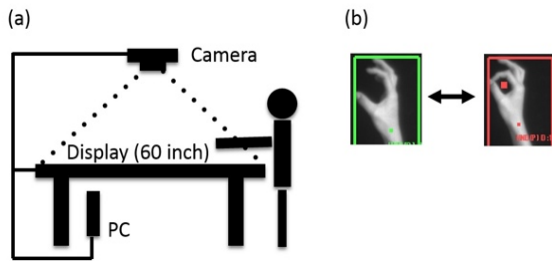


図 3

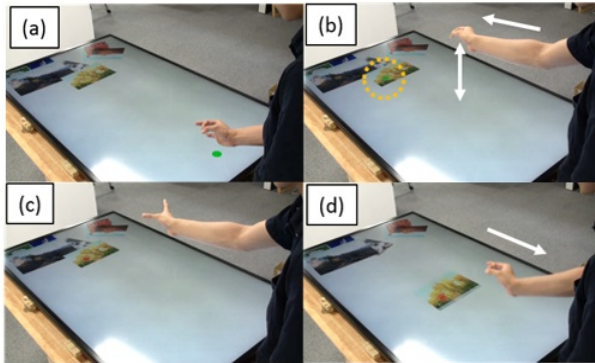


図 4

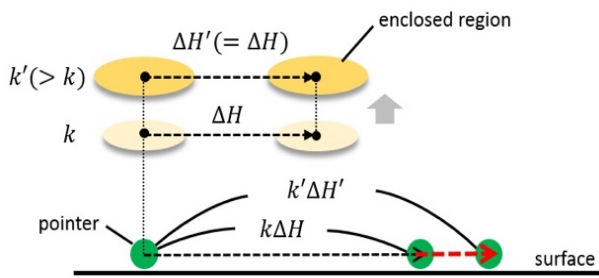


図 5

色のポインタが表示される。そのまま手をオブジェクト方面に伸ばすとポインタが移動し、図 4 (b)に示すようにオブジェクトをポインティングする。オブジェクト上にポインタがある状態で指を再度つまむと、ポインタの色が赤色に変化してオブジェクトが選択され自由な移動が可能となり、図 4 (c)(d)に示すように手元に引き寄せることができる。

$i$ フレームにおけるポインタ位置 $P_i$ は式 (1)に示すように、前フレームのポインタ位置 $P_{i-1}$ にフレーム間の手の位置の変化に C-D比 $k_i$ を掛けたものを足し合わせることで求めている。なお、つまんだ瞬間の手の位置を  $H_{0,i}$ フレームにおける閉領域の面積と  $H_0$ における閉領域の面積をそれぞれ  $S_i, S_0$  とする。

$$P_i = P_{i-1} + k_i(H_i - H_{i-1}) \quad (1)$$

$$k_i = \alpha \times \prod_{j=1}^i \frac{S_j}{S_{j-1}} \quad (2)$$

本手法では、指でつまむ動作を認識するがこの時、指で囲まれた閉領域の面積も取得できる。カメラから見た閉領域の面積は、手の水平方向の移動に対してはほぼ不変であるが、垂直方向の移動に対しては大きく変化する。これを利用して、つまんだ手を垂直方向に上げるほど、すなわちカメラから見た閉領域の面積の拡大に伴ってC-D比 $k_i$ を大きくし、ポインタの移動速度を上げる。なお、 $\alpha$ はC-D比調整用係数である。すなわち、手のわずかな移動によって遠方への素早いポインティングを行いたい際は手を垂直方向に上げ、逆にポインタの詳細な位置決めや、手元に近い操作を行う際は手を下げてポインタの速度を遅くするというように、ポインティング操作を妨げず手の高さを変えるだけでC-D比の変更が可能となる。つまんだ状態で手を動かすことでポインタの移動ができ、ポインティング中に指を開いて閉じる動作(つまむ動作)をすることで対象オブジェクト等の選択操作が行える。

## 4. 研究成果

### 4.1 歪み補正

様々な形状の透明物体に対して歪みの補正を行った。図 6にその一例を示す。図 6左の画像は透明物体による歪みを異なる視点から撮影したもので、視点位置によって歪み方が異なっていることがわかる。右の画像は歪み補正適用後に異なる視点位置から撮影したものである。このように任意の視点に対して複

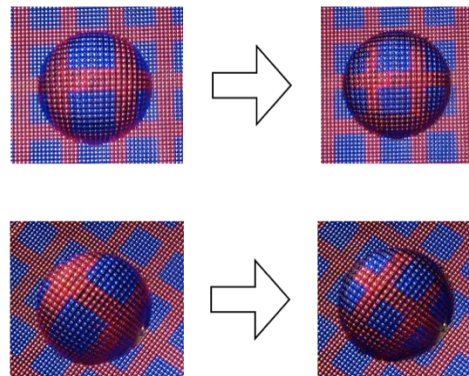


図 6

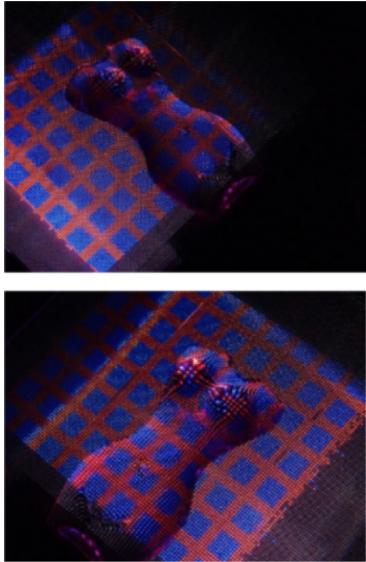


図 7

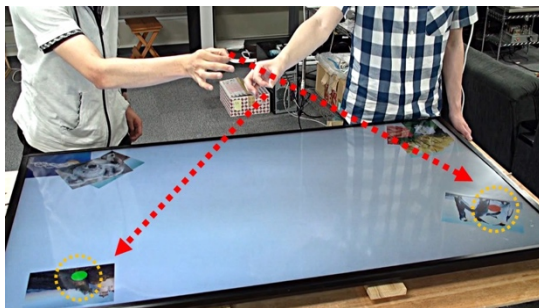


図 8

数同時に透明物体による映像の歪みを補正することが出来た。その他、任意の形状に対して同様の補正を行うことが出来た (図 7)。

#### 4.2 異種入力方式の統合

指でつまんだ閉領域のカメラから見た面積変化を読み取ることで、深度カメラなどを用いることなく手の高さ情報を C-D 比の動的な変更を利用することができた。またデバイスの装着を必要とせずに指の開閉動作のみでのポインティングを実現した。図8は複数のユーザが遠隔の画像を操作している様子である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

[1] 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, pp.59-67, May/June, 2014. (査読有) DOI 10.1109/MCG.2014.39

〔学会発表〕 (計 7 件)

[1] Naoya Tochihara, Toshiki Sato, Hideki Koike: A remote pointing method with dynamic C-D ratio during a pinching gesture for large tabletop systems, Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA'16), pp.553-559, 2016. (査読有), San Jose, USA. DOI 10.1145/2851581.2892579

[2] Jefferson Pardomuan, Toshiki Sato, Hideki Koike, LivingClay: particle actuation to control display volume and stiffness, Adjunct Proc. of the 26th annual ACM symp. on User Interface Software and Technology (UIST '13), pp.103-104, 2013. (査読有), St Andrews, UK. DOI 10.1145/2508468.2514731

[3] Noriyuki Aihara, Toshiki Sato, Hideki Koike, Highly deformable interactive 3D surface display, Adjunct proc. of the 25th annual ACM Symp. on User Interface Software and Technology (UIST 2012), pp.91-92, 2012. (査読有), Cambridge, MA, USA. DOI 10.1145/2380296.2380337

[4] Yasushi Matoba, Toshiki Sato, Nobuhiro Takahashi, Hideki Koike, ClaytricSurface: An Interactive Surface with Dynamic Softness Control Capability, ACM SIGGRAPH Emerging Technologies, Article No.6, 2012. (査読有), Los Angeles, CA, USA. DOI 10.1145/2343456.2343462

[5] ジェフェルソンパルドムアン, 佐藤俊樹, 的場やすし, 小池英樹, ClaytricSurface: 高度可変ディスプレイの提案とアプリケーションの開発, 第 20 回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(WISS 2012)論文集, 2012. (査読有), 青森県三沢市

[6] 合原範行, ジェフェルソンパルドムアン, 佐藤俊樹, 小池英樹, Highly Deformable Interactive 3D Surface Display, 第 20 回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(WISS 2012)論文集, デモ発表, 2012. (査読無), 青森県三沢市

[7] 衛藤 春菜, 的場 やすし, 佐藤 俊樹, 福地 健太郎, 小池 英樹, 梶本 裕之, 指先への電気刺激により触覚提示を行うタッチディスプレイ技術, 情報処理学会 インタラクシオン 2012 論文集, pp.105-112, 2012. (査読有), 東京

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

小池 英樹 (KOIKE, Hideki)

東京工業大学・大学院情報理工学研究科・  
教授

研究者番号：70234664

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：