

布上の位置情報に基づくウェアラブルインタフェース

中妻 啓[†] 篠田 裕之[†]

布上の位置情報をスマートフォンなど小型デバイスのカメラにより取得する手法を紹介し、これを用いたウェアラブルインタフェースを提案する。布上に位置情報パターンを付与しカメラによりこれを取得することでウェアラブルインタフェースシステムを構成する。これを衣服に応用すれば、デバイスを衣服上に当てた位置に基づく入力インタフェースが可能である。

Wearable Interface based on Position Information on Fabrics

KEI NAKATSUMA[†] HIROYUKI SHINODA[†]

In this paper, we describe a technique of device position detection on fabrics for small devices such as smart phones. Position information pattern is encoded on a fabric. A camera embedded in a smart phone captures the pattern and estimates its own position and orientation. Device positioning on clothes enables an input interface system based on positions of devices on clothes.

1. はじめに

本稿では、スマートフォンなどの小型機器でカメラを持ったデバイスを用いたウェアラブルインタフェースシステムを提案する (図 1)。

近年、スマートフォンなど携帯型情報端末が普及してきている。こうしたデバイスは携帯性を高めるため小型化され、近年では表示のためのディスプレイと外装がほぼ同じサイズになっている。一方、こうしたデバイスは多様な機能を持つため、従来の携帯電話のように数字テンキーと数種類の補助的なボタン入力では不十分である。そこでディスプレイにタッチディスプレイを採用し、アプリケーションに応じてキーボードによる文字入力やポインティング入力を行う。デバイスの小型化と機能の多様化という2つの要求は、より小さいインタフェース領域でより多様な操作を行うというユーザにとって極めて困難な状況を作り出す。

Harrison らはこの問題に対し、デバイスの入出力インタフェースをユーザの皮膚上に拡張する手法を提案した ([3])。これは、皮膚上のタップされた位置を測定することで皮膚をタッチインタフェースとして利用することを可能にした技術である。また、Niikura らの提案したインタフェースでは、空中の手の動きを認識したジェスチャ入力を実現している ([6])。

我々は、衣服を小型デバイスのインタフェースの拡張に用いる。衣服は我々が日常生活で常に身に付けて

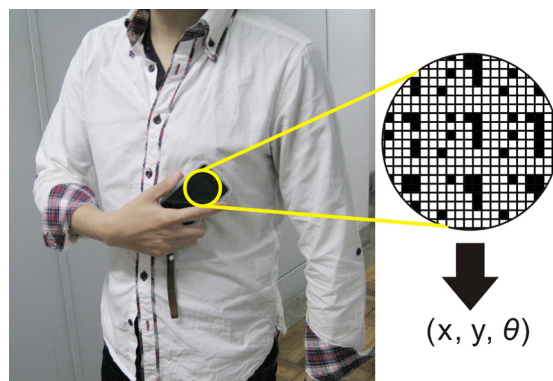


図 1 スマートフォン等の小型デバイスの布上における位置を入力として用いるウェアラブルインタフェース

いるものであり、持ち運びの煩雑さが無い。また、衣服は一般的に胸部、腹部など胴体部分には常に布地が存在する。提案するシステムは胸部、腹部などにデバイスを押し当てたときの位置を測定し、その位置やデバイスを動かした軌跡に機能を割り当てる入力インタフェースである。

我々は以上のシステムを、布上に位置情報パターンを付与し、これをデバイスが撮像して自身の位置・姿勢を推定する手法で実現する。布への機能付加を最小限にし、デバイス側も内蔵のカメラを用いることで広く利用可能なシステムを目指している。

本稿では、第 2 章で提案システムの構成とその利点や我々の狙いについて述べる。第 3 章では試作したプロトタイプとその特長を紹介する。第 4 章で結論として本稿のまとめと今後の課題の提示を行う。

なお、以下デバイスあるいはカメラの位置とは布上

[†] 東京大学

の XY 座標値，姿勢とは布表面と平行な面内における回転角 θ を意味する。

2. 提案システムの概要

2.1 システム構成

1 章に述べた入力インタフェースシステムを実現するには，布に RFID タグを埋め込む，2 次元バーコード等のコードを印刷するなどしてこれらを読み取るといった手法が考えられる。我々が提案するシステムは後者を採用し，以下の要素から構成される。

- 衣服（布）上に付与された位置情報パターン
- スマートフォンなどに内蔵の小型カメラ
- カメラアタッチメント

以上の構成で，カメラが撮影した画像から布上の位置情報及び姿勢情報を取得する。本手法はデジタルペンシステム，Anoto ペン[1]を参考にしたものである。Anoto ペンは紙面上の絶対位置を表す微細なドットパターンが印刷された紙を用いる。ペンに内蔵されたカメラでこのパターンを取得することでペン先の紙面上における位置を測定し，その軌跡を記録する。我々の提案システムも位置情報を布上に付与し，これをカメラで取得することで布上の絶対位置を同定する点は Anoto ペンと同様である。

通常こうした 2 次元コードは紙面や壁面等に印刷される。一方我々が対象とする素材は柔軟な布である。カメラで布表面のパターンを撮像するときは布の変形によるパターンの歪みやオクルージョンが生じ取得パターンからの位置情報の復号が困難である。そこで，布への位置情報パターンコーディング手法及び撮像系のカメラアタッチメントを工夫することにより布に適したシステム設計を行っている。システム構成についての各論と詳細は第 3 章に述べる。

2.2 提案システムの特長と狙い

柔軟な布を用いたインタフェースシステムへ応用可能な技術として，例えば Elecsen 社の ElekTex [2] という技術は柔軟なタッチパッドを実現する。また，[4] は布そのものの形状取得を目指した研究である。

一方，提案手法はデバイスを図 1 のように手に持って衣服に当て，布上におけるデバイス位置を入力操作に利用するシステムである。本稿で提案するウェアラブルインタフェースの特長を以下に述べる。

- (1) スマートフォンに代表される小型情報デバイスの入力インタフェースを，我々が常に身につけている衣服へ拡張する。
- (2) 従来の衣服に大幅な機能の付加を必要とせずに

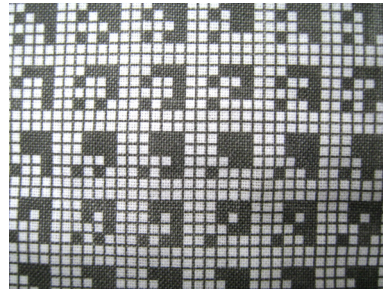
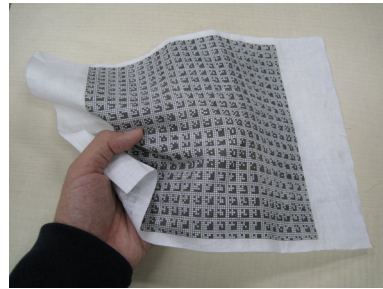


図 2 布上に印刷された位置情報パターン及びその拡大図。位置情報を格子の 1 マスを 1 bit とする 2 次元ビットパターンとしてコーディングされる。また，布上の方向情報も付与されている。

実装可能である。衣服表面に位置情報パターンが印刷等により付加されればよい。

- (3) 同様に読み取りデバイスに対する機能の付加も少ない。既にカメラを有するデバイスの場合，カメラへのアタッチメントを取り付けるだけでよい。
- (4) 特殊な装置を用いることなく，入力操作に対する感覚フィードバックが得られる。

既に述べたように，衣服は我々が持ち運ぶという感覚なしに常に身に付けているものである。また，季節や環境を問わずに腹部や胸部といった比較的広い面積をインタフェースとして利用できる。

本来，衣服を入力装置に用いるためには手で直接触れた位置を測定できることが望ましい。しかしそのためには布に何らかの測定機能が必要である。衣服が日常的に着用，洗濯されることを想定すると全ての服にこうした機能を組み込むことは困難である。一方，提案する手法では衣服へ新たな装置を組み込む必要はなく，位置情報パターンを何らかの手段で付与できればよい。既に布上への印刷技術は確立されておりパターンの付与は容易と考えている。我々は提案システムの利用シーンとしてまず医師・看護師の白衣など特殊な状況で用いる作業衣を想定しているが，赤外線反射（透過）インク等の利用でパターンを不可視化し日常生活で自然に使用することも可能と考えている。

提案システムではデバイスを布に近づけそのパターンを取得する必要がある。デバイスが布に触れていな

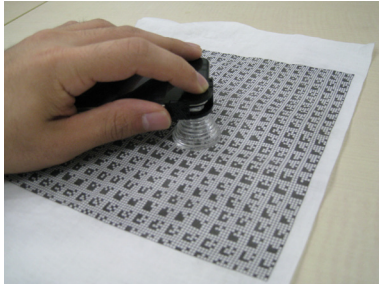


図3 iPod touch (4th generation)のカメラに取り付けられたアタッチメントと、その使用状況.

くてもパターンの取得は可能であるが、我々はここでパターン取得の際にはデバイスを手で持ち、布（衣服）に当てるといった操作をユーザに要求するシステム設計を行う。

デバイスを直接押し当てることで、布とデバイス内蔵のカメラの位置関係を一定に保つことができる。これにより、取得したパターンからの位置情報の抽出の計算コストを軽減できる。

さらに我々はデバイスを衣服に直接押し当てるといった動作の重要な利点として、デバイスが衣服に触れることで衣服下の皮膚にデバイスが押し当てられた感覚を生起することに注目している。従来のタッチディスプレイには入力に対する感覚フィードバックは視覚しか無く、操作には視覚補助が必要である。提案システムではデバイスを衣服の一部に押し当てたり衣服上をなぞったりする動作に対し、上述の触覚フィードバックが存在する。ユーザはこのフィードバックを用いて入力動作を制御し、意図する操作の実現が可能である。提案システムは入力操作において視覚的な補助が困難あるいは危険を伴う作業中や運転中、歩行・ジョギング中といった状況での利用に応用が広がる。例えば、運転中にかかってきた電話の受信、音楽プレーヤーの操作といった単純な操作だけでも視覚を用いずにユーザ自身がどのような操作かを認識しながら実施できる利点は大きいと考えている。

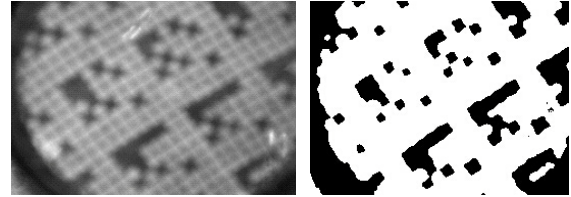
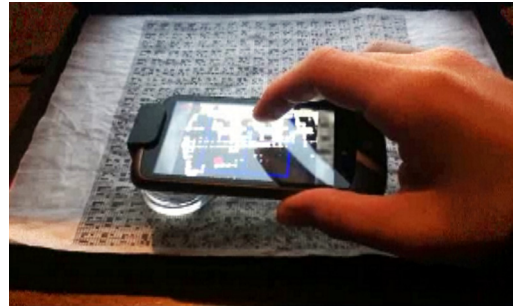


図4 スマートフォンのカメラにアタッチメントを取り付け、図2の布上で位置取得を行うシステムの動作状況。左下は取得画像、右下は取得画像を二値化したもの。動作状況については参考動画にも示す。

3. プロトタイプ

3.1 布上の位置情報パターン

我々が入力インタフェースとして使用する素材は布である。衣服のように多様な素材が用いられる場合、使用される糸の太さなども異なってくる。このため、Anoto ペンシステムのドットパターンのような微細パターンを布上で用いることは適切でない。また3.2に述べるが、パターン取得に用いるスマートフォンなどのカメラには接写機能が無いことも多いため高精細な画像取得も常に可能とは言えない。

そこで、我々は低解像度のパターンニングにも適用可能な位置情報コーディング手法として[5]で用いられる手法を利用する。[5]は、二次元通信シートという無配線通信・給電環境でデバイス位置を取得する測定手法である。ここでは、二次元通信シートが有する導体メッシュ格子を利用して位置情報コーディングを行っている。格子の1マスに1 bit の情報を付与し、複数のマスを用いてシート上の2次元座標値を表現する。

我々はこの手法を用いて布上に位置情報パターンを印刷した。図2にパターンを付与した布及び付与したパターンの拡大図を示す。位置情報は格子模様の1マスを1 bit として白黒のビットパターンとして表現される。[5]より、格子の間隔を1.5 mm とし、1組のXY座標値のコーディングに5 × 5 マスの領域を用いると、およそ3.8 m 四方の領域内で一意に位置・方向を同定することが可能である。体表面積を求める

Dubois 式によれば、体重 $W = 80 \text{ kg}$ 、身長 $H = 180 \text{ cm}$ の人の体表面積は

$$W^{0.425} \times H^{0.725} \times 0.007184 = 2.00 \text{ [m}^2\text{]}$$

であり、3.8 m 四方という面積は人の体表面を覆うのに十分広い。

一方このとき、XY 座標値及び回転角を決定するのに必要な画像取得領域は[5]より 14.85 mm 四方の正方形領域である。3.2 で示す撮像系はこの面積を取得可能なよう設計されている。

3.2 撮像系

3.1 で示した布上の位置情報パターンの取得にはカメラを用いる。

提案システムはデバイスを衣服に直接押し当てることでユーザに触覚フィードバックを生起することを特長の1つとしている。しかし3.1で述べたように位置情報の取得にはある大きさの領域を撮像する必要があるため、カメラと布の間に一定以上の距離を確保する必要である。そこで、プロトタイプではカメラレンズの先にアタッチメントを取り付ける(図3)。アタッチメントはカメラのレンズの先に取り付けるアクリル製の円錐形部品である。底面はアクリル板で塞がれ、この面を布上に押し当てる。このアタッチメントを取り付けることで撮像系が以下の特長を持つ。

- (1) 布表面に対するカメラの位置・姿勢を一定に保ち、撮像した画像の処理計算を軽減する。
- (2) 撮像領域の布表面を平面に保つ。アタッチメント底面のアクリル板により、撮像領域では布は平面であることが保証される。布の変形の校正やパターンのオクルージョンを回避する。

以上に加え、撮影した画像にボケがあっても3.1で述べたように位置情報パターンの空間解像度が低いことで取得後の処理により容易に撮像領域のビットパターンを復元可能である。よってアタッチメントが接写レンズ等の光学部品を用いる必要がないため、安価にアタッチメントを製造することができる。

図4に、図2の布上で提案システムによる位置取得を行っている様子を示す。取得画像の焦点はボケているが、パターンが低解像度に印刷されていることから二値化を行った上でパターン中のビットパターンの認識を行い布上の位置を推定することに成功している。なお、この動作状況は参考動画にも示している。

4. 結論

本論文では、布上の位置情報に基づくウェアラブルインタフェースシステムの提案を行った。提案手法は

布に位置情報パターンを付与し、これをカメラで取得することでデバイス位置と回転角の推定を行う。提案手法は、布特有の性質である柔軟性や高精細なパターン付与ができないといった問題を回避するため位置情報コーディング手法及び撮像系に独自の工夫を持つ。また、提案システムは入力動作時にデバイスを布上に押し当てる動作を要求する。布を身体の拡張である衣服とすることで、特別な装置を使わずにユーザがどこにデバイスを押し当てたかの触覚フィードバックを受けることを狙っている。

製作したプロトタイプは、布上に印刷した位置情報パターンを撮影し、画像からカメラの回転角及び位置情報を持つビットパターンの抽出に成功した。一方、プロトタイプの動作には照明条件が一定である必要があった。今後は照明系をシステムに組み込みロバストな位置検出を可能にする。

さらに取得した位置情報を用いて提案システムの有用性を示すアプリケーションの開発を進め、操作性についての評価を行う予定である。

謝辞 本研究は、日本学術振興会当別研究員奨励費(21・5508)の助成を受けている。

参 考 文 献

- 1) Anoto. <http://www.anoto.com/>
- 2) Eleksen. <http://www.eleksen.com/>
- 3) Harrison, C., Tan, D. Morris, D., "Skinput: Appropriating the Body as an Input Surface," In *Proc. of CHI 2010*, pp. 453-462, 2010.
- 4) Hoshi, T., Shinoda, H., "Three-Dimensional Shape Capture Sheet Using Distributed Six-Axis Sensors," In *Proc. of INSS 2008*, pp. 156-161, 2008.
- 5) Nakatsuma, K., and Shinoda, H., "High Accuracy Position and Orientation Detection in Two-Dimensional Communication Network," In *Proc. of CHI 2010*, pp. 2297-2306, 2010.
- 6) Niikura T., et al. "In-air typing interface for mobile devices with vibration feedback," In *ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies*, 2010.