

Fig. 1 触覚コンテンツとしての運筆動作を入力するウェブアプリケーションの外観。ユーザは枠内への描画で運筆軌跡の入力（左）、Twitter 投稿用のテキスト情報の入力を行う。

作は「くすぐったさ」に注目した触覚コミュニケーションの手段として過去にも古川らが利用している[7]。

すでに述べたように運筆動作の入力は絵や文字等の描画と同様であるため、既存のポインティング入力デバイスを入力デバイスとして利用する。より具体的には、ポインティング入力デバイスを用いて手掌上を指先でなぞる軌跡を制作するためのシステムとして我々はブラウザ上で動作するウェブアプリケーションを開発している。このアプリケーションの外観を図 1 に示す。アプリケーションで示される枠内にマウスやタッチスクリーン等を用い軌跡を描くことで運筆動作を入力可能である。

以上のように制作された触覚コンテンツを広く配布・共有するためには、何らかの形式で記録することが必要である。触覚情報については視覚・聴覚情報のように統一された規格が現状では存在しない。ここで、我々が採用する運筆動作は点軌跡で表せるため、画像として記録することが可能である。そこで我々はより多くのユーザが提案する枠組みへアクセス可能とするため、独自に規格を作らず現存する情報端末が幅広く対応可能な既存規格により触覚コンテンツを記録することを考えた。

ウェブアプリケーション上で入力された軌跡を 1 枚の画像として保存した例を図 2 に示す。画像中に 2 次元軌跡情報を符号化するため、ポインティング入力による軌跡入力を一定時間間隔でサンプリングし各時刻における軌跡の位置をピクセル位置に対応させる。この時ピクセル値として時刻情報をコードする。以上の方法により、各時刻に対応する画素値を持つピクセルの位置を結ぶことで軌跡を再現できる。現状のシステムでは、PNG 形式の画像として軌跡情報が保存されて

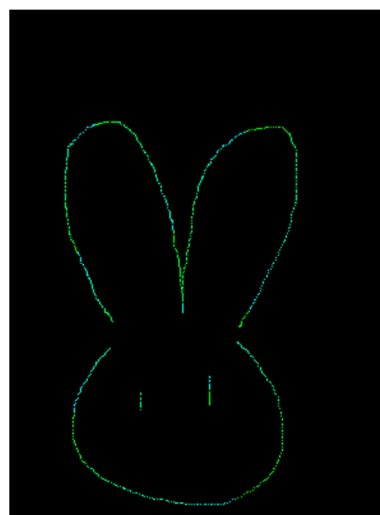
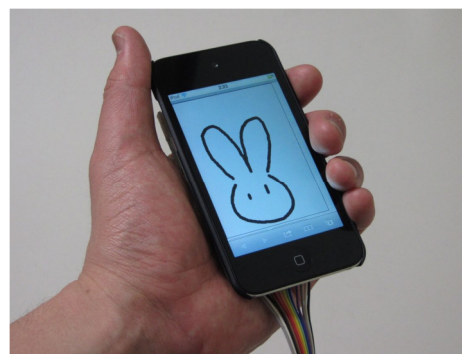


Fig. 2 Fig. 1 のウェブアプリケーションにより入力された運筆動作軌跡（上）と、その画像へのコーディング（下）。

いる。以上の手法は文献[9]にその詳細が述べられている。

さて、実際に手掌部等の皮膚上で指先やペン先で運筆動作により何かを表現する際には、点軌跡のほかに軌跡上の各点における強度情報も存在する。我々のシステムでは強度情報については対応しておらず、常に一定の強度でなぞられているものとしている。しかし、上記のコーディング手法では位置を表す 1 ピクセルに時間情報だけでなく強度情報を付与することも十分に可能である。今後、押下力も取得可能なタッチスクリーンデバイスが一般的になれば強度情報を含める拡張は容易に行える。

## 2.2 コンテンツ共有部

2.1 で述べたように、我々は触覚コンテンツとして掌上を指でなぞる運筆動作を採用する。そしてその入力には既存のポインティングデバイスを用いたウェブアプリケーションを開発し、入力された軌跡情報は 1 枚の画像中に保存される。

我々はこうして制作された触覚コンテンツの配信・共有媒体としてウェブを介した Social Networking

Service (SNS)に注目している。我々が開発したシステムでは短文メッセージ投稿によるコミュニケーションを提供する SNS サービスである Twitter [5]を利用した触覚コンテンツの発信・共有を行う。

Twitter は他の多くの SNS サービスと同様に短文テキストの投稿だけでなく画像投稿もサポートされている。一般に画像投稿はテキスト中に画像へのリンクを挿入することで実現されている。我々が提案する画像中への運筆動作のコーディングでは PNG 形式の画像を用いており、これは多くのブラウザや SNS で対応している企画であるため汎用性が高い。図 1 のウェブアプリケーションにおいては Twitter と連携する画像共有サービスである Twitpic [6]を利用して画像の投稿を行っている。

触覚情報は点字などの特殊な例を除き視覚や聴覚などのようにある情報を正確に伝達する手段として用いられていない。触覚のみにより伝達できる情動が存在する可能性はあるが、本稿で提案するように簡易な触覚コンテンツを成立させ広く受け入れられるためには視聴覚情報によりコンテンツに付随する文脈や意味を付加する必要があると我々は考えている。一方、Twitter は短文テキストを基本としたコミュニケーションツールである。Twitter という本来テキストによるコミュニケーションツールを利用することで、運筆の軌跡という単純な物理刺激を文脈依存のコンテンツとして成立させることが我々の狙いである。

我々が Twitter を利用するうえで重視しているもう一つの点は、Twitter やメールといったテキストベースのコミュニケーションはコミュニケーションの当事者同士が対面していないため、文字通りに表れない内容を伝達することが困難である。携帯電話等のメールでは絵文字を組み合わせることでテキストに表情をつけることができる。我々は提案する枠組みにおける触覚表現がテキストへの表情付けと比べより豊かで強く情動を刺激するものであると期待している。この点については今後、制作したシステムの評価を通して考察していく予定である。

## 2.3 コンテンツ鑑賞部

2.1 で述べたように、我々は触覚コンテンツとして掌上を指でなぞる運筆動作を採用する。そしてその入力には既存のポインティングデバイスを用いたウェブアプリケーションを開発し、入力された軌跡情報は 1 枚の画像中に保存される。

入力装置として用いるタッチスクリーンデバイスをはじめとした情報端末や、配信・共有に利用する Twitter のように以上の運筆動作をユーザに提示する装置とし

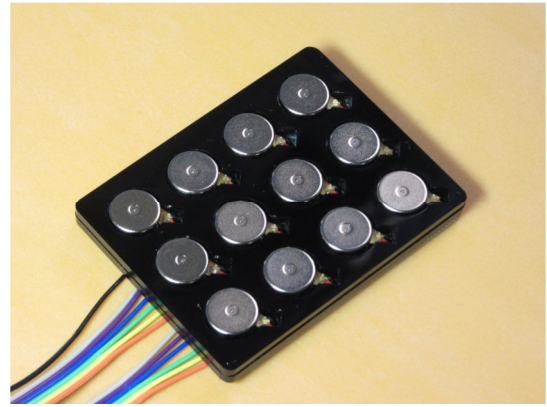


Fig. 3 運筆軌跡を提示する振動子アレイ。平面上に 12 個の振動子を 17 mm 間隔で配置している。

て利用可能な既存の仕組みや端末は現在のところ存在しない。そこでなるべく簡易な構成で運筆軌跡の提示という目的を実現する装置として我々は振動モーターを用いた 2 次元振動子アレイを提案する。3 節ではこの振動子アレイについてその実装や駆動方法の詳細を述べる。

## 3. 運筆軌跡提示装置

### 3.1 ハードウェア構成

本節では 2 節で述べた提案システムのうち鑑賞部にあたる運筆軌跡提示装置についてその実装・駆動手法について述べ、主観評価の結果を報告する。

本稿で扱う運筆動作のような 2 次元面上の点軌跡を手掌部等の皮膚上に提示する触覚ディスプレイの研究は数多く行われている。例えば電気触覚ディスプレイ [8]や、空中超音波触覚ディスプレイ [11]、形状記憶合金 [12]などを利用して手掌部に何らかの点運動の軌跡を提示可能なシステムがある。

我々が提案する枠組みでは簡易な構成で安価にデバイスを製造できる手法として、振動子を面上に離散的に配置した 2 次元アレイを用いて点運動の軌跡を提示するディスプレイを採用する。同様のデバイスは Borst らが既に提案しており [2, 3]、離散点の刺激による連続的な点運動軌跡の提示可能性は実証されている。

図 3 および図 4 に我々が実装した 2 種類の振動子アレイを示す。振動子には円盤型振動モーター (FM34F、東京パーツ製) を用いている。図 3 はこれを 3x4 で 12 個のアレイとして配置したものである。各振動子はアクリル製の平板上に設置されている。また、図 4 のアレイは樹脂により成型した基材上に 3x3 で 9 個の振動子を配置している。各振動子は曲面上に配置される。こちらの振動子アレイは、図 4 (下) のようにハンドトップサイズのタッチスクリーンデバイス (図 4 では iPod



Fig. 4 (上) 運筆軌跡を提示する振動子アレイ。曲面上に9個の振動子を17 mm 間隔で配置している。(下) iPod touchの背面に取り付けた様子。曲面により図3の振動子アレイと比較して手掌部との密着性を高めている。

touch) と組み合わせて使用することを想定している。そのため平面上に振動子を配置した図3のアレイと異なり、握った際に手掌部に収まり、皮膚により密着することを狙って設計している。各振動子はどちらも17 mm 間隔で配置している。

各振動子はマイコン基板 Arduino [1]を介して PWM 信号により振動強度を独立に制御される。この際十分な振動強度を得るためモータードライバ (SN75441) を用いる。

### 3.2 振動子駆動

上記のように振動子の駆動は Arduino の PWM 信号出力により行うが、各振動子の振動強度は現在 PC 上のプログラムにより決定している。各振動子の振動強度決定手法を以下に述べる。

図5は各振動子位置とある時刻における刺激位置を示している。 $i$ 行 $j$ 列の振動子位置を  $V_{i,j}(x, y)$ , 刺激位置を  $P(x, y)$ と置く。 $P$ と  $V_{i,j}$ 間の距離を  $L_{i,j}$ として、振動子  $V_{i,j}$ の駆動強度  $S_{i,j}$ は0から255の範囲で以下の式に従って決定される。

$$S_{i,j} = 255 \times \left(1 - \frac{L_{i,j}}{L_{max}}\right) \quad (S_{i,j} \geq 0)$$

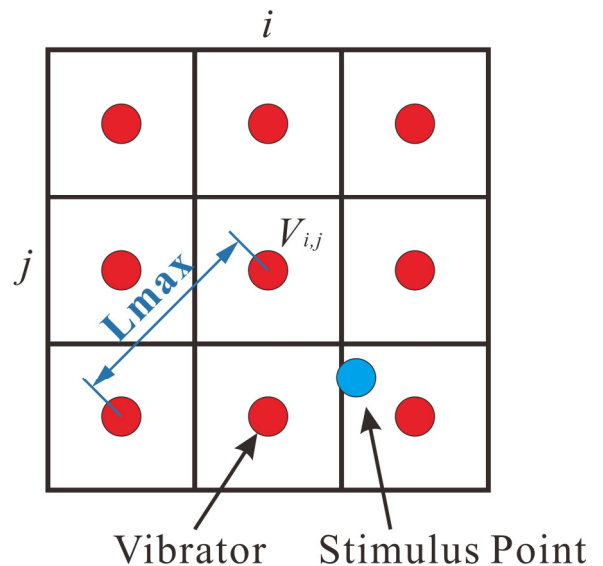


Fig. 5 振動子アレイの各振動子の振動強度決定手法の概要。刺激点 (Stimulus Point) と各振動子 ( $V_{i,j}$ ) との距離および基準距離  $L_{max}$  に応じて振動強度は決定される。

ここで、 $L_{max}$  は図5に示す通り定義される長さである。 $L_{max}$  の設定によって同時に駆動される振動子の範囲を調整できる。図5の設定ではある刺激点に対して同時に駆動される振動子は3~4個である。

### 3.3 評価

以上の運筆軌跡提示装置について筆者がいくつかの運筆軌跡について自身の手掌部に提示した。提示時は触覚刺激だけでなく PC のディスプレイ上に視覚的にも軌跡を同期させて表示した。円形、四角形、三角形、星型などを提示したところ、どれも軌跡に従った刺激が手掌部に生じることを確認した。ただし、閉眼時に提示された軌跡を正確に認識することは困難であり視覚情報が果たす役割の比重が大きいことが示唆された。

また、刺激位置によって刺激強度にばらつきがあり連続的な軌跡に感じられない部分があることがわかった。刺激位置と振動子の配置により重みづけをするなど、3.2で述べた振動子の駆動手法についても工夫する必要があることが示された。さらに本手法では滑らかな点移動を感じることができず、各振動子間の振動の移り変わりがはっきりと感じられた。軌跡の進行方向により各振動子の振動強度変化を調整するなどより滑らかに点の移動を提示する改善が必要である。

## 4. 結論

本稿では触覚を利用したコンテンツを楽しむ環境を構築することを目的に、触覚コンテンツの制作・共有・鑑賞のための枠組みを提案した。コンテンツとして利用する触覚刺激としては手掌部への運筆動作の軌跡を

採用し、提案する枠組みを構成する各要素としてポインティング入力デバイスを用いて軌跡を入力するウェブアプリケーション、Twitter を利用した画像による軌跡の公開と共有、振動子アレイを用いた仮現運動による軌跡提示の各手法と実装について報告した。特に本稿では振動子アレイによる運筆動作軌跡提示装置について、その実装、振動子駆動強度決定手法について述べた。また筆者による主観評価の報告から今度の課題について考察した。

## 謝辞

本研究は科学研究費補助金（24800009）の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Arduino: <http://www.arduino.cc/>
- [2] C. W. Borst and A. V. Asutay, "Bi-level and anti-aliased rendering methods for a low-resolution 2d vibrotactile array," in *Proc. of World Haptics 2005*, IEEE, pp.329-335, 2005.
- [3] C. W. Borst and C. D. Cavanaugh, "Touchpad-Driven Haptic Communication using a Palm-Sized Vibrotactile Array with an Open-Hardware Controller Design," in *EuroHaptics 2004*, 2004.
- [4] K. Minamizawa, M. Nakatani, Y. Kakehi, S. Mihara and S. Tachi, "TECHTILE Toolkit," in *IEEE Haptics Symposium 2012*, Demo, 2012.
- [5] Twitter: <http://twitter.com/>
- [6] Twitpic: <http://twitpic.com/>
- [7] 古川, 梶本, "掌の上で動く他者の指先から得られる近接感," 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.510-521, 2010.
- [8] 福嶋政期, 梶本裕之: 掌タッチパネル, インタラクティブ 2011 予稿集, pp.849-850, 2011.
- [9] 星, 中妻, "触覚コンテンツの制作及び共有支援システムの提案," 第12回 SICE SI 部門講演会論文集, pp. 2270-2272, 2011.
- [10] 星, 中妻, 篠田, "運筆動作を介した触覚コンテンツ生成および共有のための枠組み," ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012 講演論文集, 1P1-A02, 2012.
- [11] 星貴之: 非接触触覚ディスプレイによる手掌部への情報提示, 第16回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 732-733, 2011.
- [12] 水上陽介, 澤田秀之: 薄型触覚呈示デバイスによる高次知覚を利用した触覚情報呈示, インタラクティブ 2007 予稿集, pp. 121-128, 2007.