

dePENd: ボールペンの強磁性を利用した 手描き拡張システムの提案

山岡潤一^{†1} 笈康明^{†2}

我々は日常的にペンと紙を用いて自由な描画を行う。一方で、手描きでは正確な図形の描画や情報の複製などは難しい。そこで本研究では、コンピュータによる描画と手描きを融合するアプローチとして、磁石と機械を用いて紙とペンでの筆記をアシストするシステム dePENd を提案する。このために、本システムではボールペンのペン先の強磁性に着目した。机内部の磁石の位置を XY ステージとコンピュータで制御することで、ボールペンのペン先が磁石に吸着し、筆記時のペンの動きを制御する。フリーハンドで正確な円や直線を描画できたり、デジタルペンを用いることで描画物を記録し、任意の場所に複製できる。本稿では、システムの基本設計と実装およびアプリケーション例について述べる。

dePENd: A Proposal for Augmented Handwriting System Using the Ferromagnetism of a Ballpoint Pen

JUNICHI YAMAOKA^{†1} YASUAKI KAKEHI^{†2}

We draw pictures freely with a pen and paper everyday. However it is difficult to draw and/or copy precise figures. We propose dePENd, an assisting system of a freehand drawing using a magnet and a machine. Our study uses the ferromagnetic feature of the metal tip of a regular ballpoint pen. The computer controlling the X and Y positions of the magnet under the surface of the table provides entirely new drawing experiences. When users use a digital pen, he/she can save the pictures and copy and paste the original drawings repeatedly. In this thesis, we describe the design and implementations of the device along with applications and future prospects.

1. はじめに

我々は日常的にペンと紙を用いて絵や文字を描く。手描きのスケッチやメモは、メッセージを伝えるための手段であり、表現のための手段であり、さらには考えるための手段であるとも言える。このような目的の上では、描かれた情報のみならず、その過程でのペンや筆の動き、あるいはそれに付随する身体動作が重要とも言える。例えば習字においては、書かれた文字の形状を修正するのみならず、実際に指導者が手をとって筆を一緒に動かすことで、書きながら身体動作と共にスキルを習得するといった訓練法が珍しくない。

一方で、精度の必要な細かい図形や、繰り返し大量の情報を描画したい場合には、コンピュータを用いた処理の方が適している場合も少なくない。そこで本研究では、手描きのプロセスの中に、コンピュータによるサポートを加えることを考える。この背景として、手作業のものづくりにデジタル技術を取り入れることで、手作業を拡張し支援する研究の隆盛がある。代表的な例として、Willis らは、フィジカルな入力と出力を兼ね揃えたデジタルファブリケーションによるものづくり Interactive Fabrication[1]を提唱している。これは手作業とデジタル加工技術を組み合わ

せた、リアルタイムな入力機能を兼ねそろえたデジタルファブリケーションの形態である。ユーザにとって、製造工程が見えるため、途中で変更できたり、直感的な物づくりに繋がると期待される。

具体的に本研究では、身近なボールペンと紙に着目する。普段用いている道具および行為をデジタル技術により拡張することで、手描きをサポートするシステム dePENd を提案する (図 1)。本システムでは、ボールペンの強磁性に着目し、机の下に配置された磁石の位置を制御することで、ボールペンを引きつけ、その動きを制御する。これにより、あらかじめコンピュータに入力した図形や絵を、ペンで簡

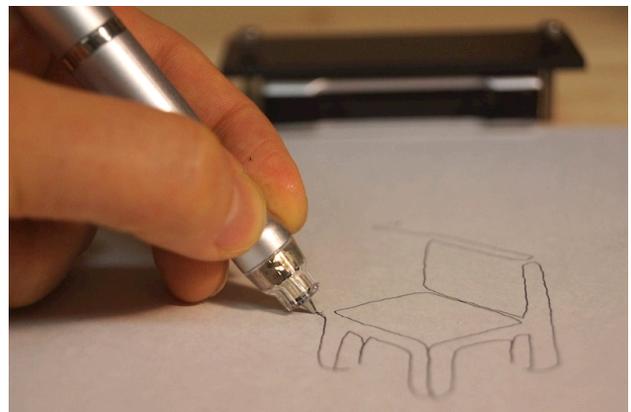


図 1 dePENd

Figure 1 dePENd.

^{†1} 慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科
Graduate School of Media and Governance, Keio University

^{†2} 慶應義塾大学 環境情報学部
Faculty of Environment and Information, Keio University

単に描くことを可能にする。また、絵をガイドとして提示することで、絵を描くことの抵抗を下げ、スキルの向上にもつながると期待される。さらに、デジタルペンを用いることで、描いた絵の複製などインタラクティブな表現を可能にする。

以下本稿では、このような機能を持つ手描き拡張システム dePENd の概要と設計・実装について述べていく。

2. 関連研究

ペンタブレットデバイスやタッチパネルの普及により、デジタル環境においてスケッチを支援したり、スキルの向上を促すための研究は数多く存在する。例として ShadowDraw[2]が挙げられる。ShadowDraw はユーザの描画したい絵を予測し、ガイドとして表示することで、絵を描き易くしたり、絵を向上できるソフトウェアである。また Pegasus[3]は、手描きで描画した線を自動的に整形し補正するソフトウェアである。このようなデジタル画面において、視覚情報を通してサポートするというアプローチではなく、本研究ではペンと紙を用いた手描きの体験の中で物理的にペンの位置を動かしながらユーザの身体動作を誘うというアプローチを採る。

手作業とデジタル技術を組み合わせたものづくり Interactive Fabrication の研究として、Shaper[1]が挙げられる。Shaper は CNC 機械と透明タッチスクリーンを用いた立体物造形システムである。タッチスクリーンの任意の場所に触れることで、対応した場所にポリウレタン樹脂が噴出され、直感的に立体物を造形できる。また、Interactive Construction[4]は、レーザーポインタとレーザーカッターを用いた木材加工支援システムである。木板にレーザーポインタで任意の図形をなぞると、コンピュータが手描きの線を精度の高い線に補完し、レーザーカッターで切断する。手描きによって精度の高いプロダクトを簡単に制作することができる。これらは従来の CAD などによる設計とは異なり、直感的な設計が可能となっている。しかし実際の造形作業に対する入力直感性に関しては改良の余地があるとも言える。

入出力が一体となり、かつ本研究と同様に紙への描画を支援する研究として DigitalRubbing[5]が挙げられる。このシステムでは紙をペンでこすすることで、下のディスプレイ上に映されたグラフィックを紙に写しとることができる。タブレットセンサとソレノイドの内蔵されたペンを用いることで、タブレットディスプレイ上に描画されている画像にペン先が接触すると、ペン型デバイスのペン先が押し出され、擦ることで紙にディスプレイと同じ絵が描かれる。また、本研究と近い構成を持つ研究として、Blind Self Portrait[6]は、目を閉じた状態で、体験者のポートレートを手描きで自動描画できる作品である。ペンを握った手を台に置き、

予め撮影した自分の写真データに沿って台を移動させることで、自動的に自分の顔の絵を描画する。これらは通常のプリンタなどと異なり、途中で変更できたり、アレンジを加えられるため、手作りの良さをデジタルアプリケーションに加えることができる。これに対し、本研究では、特殊なペン装置を新たに開発することなく、手描きを拡張し、さらにはインタラクティブな機能も付加できるという特徴を持つ。

3. dePENd

3.1 システム概要

本研究で提案する手書き拡張システム dePENd は、磁石の移動によりペンの動きを制御することで、通常のペンを用いながら、コンピュータで指定された図形や絵の描画を可能にする。具体的には、机型装置の上に紙を置き、通常のボールペンを乗せることで、ボールペンのペン先がコンピュータ制御された磁石の動きにより操作され、半自動で図形を描画する。例えば、製図などで必要な丸や直線などの予めコンピュータにインプットした図形データを手描きで描画できる。自動的にペンが動き、正確な図形や予め入力した絵をガイドとして提示することで、ユーザのスケッチの向上につながることが期待される。

本システムはペン先が強磁性である通常のボールペンを用いるため、直感的に使用することができ、日常で使いやすい構成を採る。これに加え、同様に強磁性を持つデジタルペンを用いることで、手の動きを認識し、インタラクティブな操作ができる。例えば、任意の場所から正確な図形を描画したり、熟達者の絵を記録し、再現するなど通常のボールペンとは異なるガイドが実現できる。また、描いた絵のコピー・アンド・ペーストなど、通常の手描きでは難しい表現を可能にし、新しいスケッチの表現につながることが期待される。

3.2 システム設計

本システムはボールペン、磁石、電動アクチュエータ、制御コントローラからなる机型装置と制御用プログラムの内蔵されたコンピュータから構成される(図2)。磁石の位置を XY 軸電動アクチュエータにより制御することで、吸着したボールペンのペン先の位置をコンピュータ制御により移動することができる。制御用プログラムには予め、丸や直線、絵の座標データが記録されており、割り当てられたスイッチによって切り替える。

本研究では筆記用具としてボールペンを用いる。一般的なボールペンのペン先の材料はニッケルを含むステンレス鋼であり、強磁性を有する。そのため、磁石を用いることで、ペン先を誘導することができる。

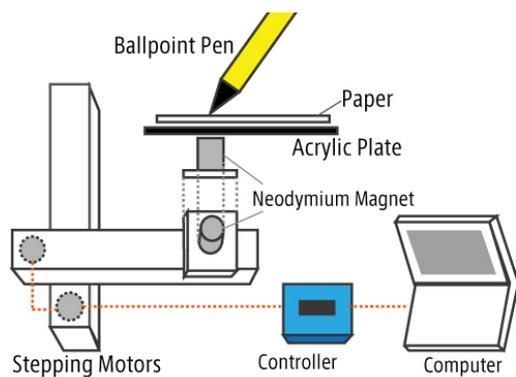


図 2 システム図

Figure 2 A dePEND System.

磁石には、磁束密度が高く、強い磁性を持つネオジム磁石を使用した。ネオジム磁石の形状は丸型で、大きさは直径 14mm 高さ 27mm である。磁気特性は表面磁束密度が約 450mT、吸着力が約 12kgf である。形状を丸型にすることで、ペン先の位置を磁石中心に近づけることができる。またフェライト磁石より磁力が強いため、ペン先と磁石の間に板や紙を配置しても吸着する。なお、今回の実装ではテーブル面には厚さ 1mm のアクリル板を用いた。

電動アクチュエータには、タイミングベルト駆動の電動アクチュエータ（オリジナルマインド製、1 軸ステージ L150、56mm 角ステッピングモータ）を 2 台 XY 軸として使用した。可動ストロークは 150mm、モータ 1 回転当たりの移動量は 50mm となり、ステッピングモータ 1 ステップ角度（1.8 度）当たり 2.5mm 移動する。移動するテーブル上にネオジム磁石を配置することで、磁石の位置を X 軸 150mm Y 軸 150mm の範囲で自由に移動することができる。また精度を高めるために、原点にフォトマイクロセンサ（オムロン製、EE-SX672A）を配置した。定期的にテーブル位置を原点に移動させることで、脱調による誤差を修正する。

ステッピングモータの制御には、マイコン（ATMEGA328P）およびステッピングモータドライバ（Allegro 製、A4988）を使用した。マイコンと制御用コンピュータをシリアル通信で接続し、制御プログラムからモータの回転方向と速度の値をマイコンにリアルタイムに送信し制御する。送信する値は予めプログラムに入力されている値か、デジタルペンを用いた際に入力した値を用いる。今回は試作機のため、制御用コントローラとコンピュータを配置したが、将来的には制御用コントローラのみでモータの制御を行う。

ボールペンの動きの制御に関する値は、制御用コンピュータ内のソフトウェアで計算される。具体的にはソフトウェア内で、描きたい図形データを机型装置内のモータの回転方向と速度のデータに変換する。変換したデータを机型

装置内の制御コントローラに送信することで、電動アクチュエータを制御し、描きたい図形を描画する。

3.3 デジタルペンによるインタラクション

通常のボールペンの代わりにペン先の座標が取得できるデジタルペンを用いることで、ペンを置いた場所から描き始めたり、描いた絵を複製できるなどインタラクティブな操作が可能である。

今回は、インタラクションが可能なバージョンとして、MVPen Technologies Ltd 製 MVP-1 を用いた装置も設計・実装した。テーブルの上に、赤外線/超音波検知ユニット（MVP-1 に付属）を置くことで、紙の上でのペンの位置および、ペン先の紙への接触イベントを検出することができる。

このペンの位置情報を、磁石の位置制御座標系に変換し、ペンの動きに磁石の動きを連動させるインタラクションを起こす。具体的には、後述のように描き始めの位置の指定や、ユーザの描画した形状を記録することに用いることができる。

4. 手描き拡張機能の提案とユーザ体験

4.1 機能概要

本研究では、正確な図形の描画、予めインプットした絵の描画、さらに描いた絵を複製する機能を開発した。

まず円や直線などの図形を正確に描画する機能である。通常、円や直線などを手描きする際には、コンパスや定規が必要である。これらの道具の代わりに、一定方向や円状に磁石を移動させることで、手描きで正確な図形を描画できる（図 3）。

また予め入力した複雑な絵を描画することもできる。立体図や複雑な絵画など、手描きでは難しい表現を機械がアシストすることで描画する。このような正確な図形や絵の描画は、スケッチに抵抗のあるユーザのためのガイドとしての使用が考えられる。

またこれらの機能に加え、ペン先の位置を検出できるデジタルペンを用いることで、ペンを置いた位置から描き始めることができる。本研究で用いるデジタルペンは、紙に対してのペン先の座標のみならず、ペン先を紙に置いた状態と離れた状態を識別できる。そのためペン先を置いた瞬間に、ペン先の位置に磁石を移動させることができる。またスケッチの熟達者のペンの動きを記録することで、ガイドとして使用するなど、スケッチの向上に用いることができる。

これらユーザのスケッチを向上する機能に加え、手描きにデジタル技術を加えた新しい表現を用意した。例えばデジタルペンを用いて、描いた絵を複製するコピー・アンド・ペースト機能である（図 4）。紙にペン先を置いてから離すま

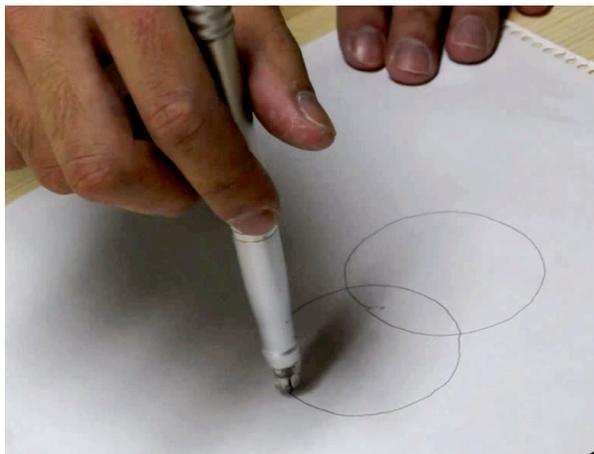


図 3 丸の描画
Figure 3 Drawing Circle.



図 5 アレンジを加える例
Figure 5 An Example of An Arrangement.



図 4 コピーアンドペースト機能
Figure 4 A Function of Copy And Paste.

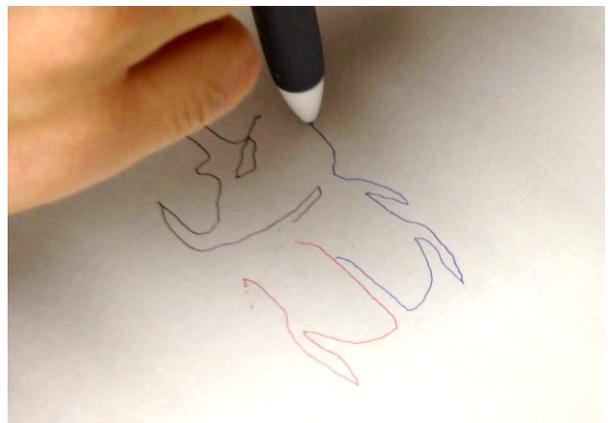


図 6 アレンジを加える例
Figure 6 An Example of An Arrangement.

での移動座標をコンピュータに記録する。その後、再び任意の場所にペン先を置くと、自動的にペン先の位置に磁石が移動して、記録した絵を自動的に描画することができる。通常は手描きで同じ絵を描くことは難しいが、本研究では同じ絵を描画できるため、群集を表現したり、少しずつ変えることでスケッチの試行錯誤ができる。

また本研究の特徴的な表現として、コンピュータによる描画に手描きによるアレンジを加えることができる。具体的には、磁石の動きをガイドとして使用する。例えば、磁石の動きにより円を描画する際に、ボールペンを少し動かすことで、体験者のアレンジを付与した円を描画できる。具体的には、通常のコピーペンの動きより、太陽や点線の円、雲などに变化する(図 5)。また、同様のアレンジの一つとして、3色ボールペンなどを用いて、描画の途中で色を変更することもできる(図 6)。何度も同じペンの動きを繰り返す中で、様々な形や色のアレンジを試すことで、表現を模索することができる。

4.2 体験の様子

本研究は Open Research Forum 2012(2012年11月22, 23日 東京ミッドタウン)にてデモ展示を行った。(図 7)

体験者は、手に持ったペンが自動的に動き出して、絵が勝手に描かれる様に驚いていた。また円や直線など、普段はフリーハンドで難しい図形を正確に描画できることは実用的であるという意見があった。また手の不自由なユーザが、字や絵を書くためのリハビリテーションに用いることができるという意見や、子供が書き順を覚えるための教育ツールに使用したいという意見もあった。

一方で、体験者の多くが、磁石の強さに対してどれくらいの筆圧を掛ければ良いかわからず、磁石の動きに付いていけない場面があった。これは、体験前にペンを軽く握ることを教示することで、適切な筆圧を覚えることができていた。装置側の改善案として、磁石からペン先が離れた場合は、ペン先の位置に磁石が戻る仕組みや、筆圧をセンシングして適切な磁力を提示することが挙げられる。



図 7 体験者の様子

Figure 7 An User Experience.

5. まとめと今後の展望

本稿では、ボールペンの強磁性に着目して、手描きとデジタル技術を組み合わせた手描き拡張システム dePENd の提案について述べた。

今後は、ユーザの細かなペンの動きや筆圧を認識し、インタラクティブなペンの動きを提示したい。具体的にはペン先が磁石から離れた場合、磁石がペン先の位置に戻ったり、ユーザのペンの動きを予測して、ユーザの描きたい絵を機械が自動で描画することなどである。例えば直線方向にペンが動いていたら、正確な直線の描画を機械がアシストしてくれる。また筆圧をセンシングすることで、筆圧の強い時は機械によるアシストを止め、筆圧が弱い時は機械による自動筆記を行うことができる。

また複数台を通信することで、遠隔地のユーザにスケッチの描き方を伝えるなど、描画を通した新しいコミュニケーションを目指したい。

謝辞 本研究の一部は JST CREST「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」領域「局所性・指向性制御に基づく多人数調和型情報提示技術の構築と実践」による助成を受けた。

参考文献

- 1) Willis,K.et al.:Interactive fabrication: new interfaces for digital fabrication,TEI '11,pp 69-72(2011).
- 2) Igarashi,T.et al.:“Pegasus: A Drawing System for Rapid Geometric Design”, CHI'98 Summary (ACM Conference on Human Factors in Computing Systems) Los Angeles, U.S.A,pp.24-25(1998).
- 3) Lee,Y.et al.:ShadowDraw: real-time user guidance for freehand drawing,ACM SIGGRAPH 2011

papers,No.27,Volume 30 Issue 4,(2011).

4) Mueller,S .et al.:Interactive construction: interactive fabrication of functional mechanical devices,UIST '12,ACM ,pp 599-606(2012).

5) Kim,H.et al.:Digital rubbing: playful and intuitive interaction technique for transferring a graphic image onto paper with pen-based computing,CHI EA '08,pp2337-2342(2008).

6) McDonald,K.et al.:Blind Self Portrait,The 3rd Annual NYCR Interactive Show(2012).