

Hairytop Interface の 大面積 Organic User Interface への拡張

Toward a large surface Interface using Hairytop Interface

大久保 賢 大出慶晴 野嶋琢也
Masaru Ohkubo, Yoshiharu Ooide and Takuya Nojima

電気通信大学 大学院情報システム学研究科

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {marchalloakbow, y.ohide}@vogue.is.uec.ac.jp, tnojima@computer.org)

概要: Hairytop Interface は多数の細線状柔軟アクチュエータにより構成される, スケーラビリティの高い, 柔軟で形状制御の可能なインタフェースである. 本研究では Hairytop Interface のこの特徴に基づき, 大面積 OUI(Organic User Interface)への拡張を目指す. 本発表ではまず 88 本の細線状柔軟アクチュエータからなる大面積版 Hairytop Interface の試作を行い, 消費電力の低減ならびに屈曲性能の均一化など, 大面積 OUI 実現に向けた問題点に関する評価・検証を行った. その上で細線状柔軟アクチュエータに毛状の装飾を施すことにより, 生物らしさを兼ね備えた, 起伏制御の可能な毛状インタフェースの試作を行い, その妥当性を評価した.

キーワード: Organic User Interface, 触覚, Shape Memory Alloy, Display-Based Computing

1. はじめに

Hairytop Interface とは, 極めてスケーラビリティの高い, 柔軟で形状制御の可能なインタフェースである[5][6]. 本インタフェースは図 1 にあるように多数の細線状柔軟アクチュエータにより構成されるものであり, 個々のアクチュエータの屈曲状態を独立に制御することで, 絨毯にのこる足型の要領で, 包絡線による任意形状提示が可能であると期待されている. また, Hairytop Interface は非平面のインタフェースであり, 柔軟で形状変化が可能, かつ入出力装置として利用可能であるという特徴を有しており, これは一般的な Organic User Interface(OUI)の定義そのものである[1][2].

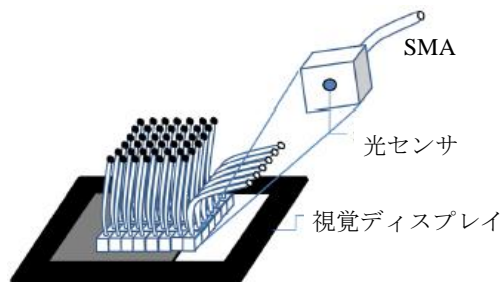


図 1 Hairytop Interface の概念図

OUI とは人間にとって親和性の高いインタフェースの到達点の一つとして考えられており, 形状変化をコミュニ

ケーション手段として採用している点が特徴である. ただしその定義にはまだ曖昧さが残っている. 例えば前述の定義にあるように, 変形可能であるだけでは不十分であり, 生物と生物のコミュニケーションにより近いインタラクションを可能にするインタフェースという定義も存在する[3]. 本研究では特にこの定義に着目し, Hairytop Interface の OUI 分野への応用を目指す.

生物同士のコミュニケーションに関連して暦本は, skin をメタファとして特に取り上げ, 握手のような, 皮膚同士の直接接触が重要な要素であるとしている[3]. しかしながらこれは人間同士の場合であり, 例えば人間と他のほ乳類や鳥類とのコミュニケーションという状況を考慮するならば, skin 同士ではなく skin&hair が重要な要素になると考えられる. 体表に毛や羽毛を持つ動物は, 毛を逆立てる等, その状態変化をコミュニケーションツールとして利用している. そこで Hairytop Interface の OUI 分野への応用として, 本稿では, 生物らしさを兼ね備えた, 起伏制御の可能な毛状インタフェースの開発を行った.

本研究ではこれまで, 数本の細線状柔軟アクチュエータを試作し, それについての評価を行ってきた[5][6]. しかしながら生物らしさを兼ね備えた, 起伏制御の可能な毛状インタフェースの開発にあたっては, 実際の毛と同程度の密度と面積を実現する必要があるものと考えられる. Hairytop Interface にて用いられる細線状柔軟アクチュエータは SMA(Shape Memory Alloy)と光センサから構成されて

おり、上部 SMA 部の屈曲は DBC (Display-Based Computing)[4]を利用することで、アクチュエータ下方からの光強度に応じて制御されるようになっている。基本構成要素の構造が極めてシンプルであることに加えて、DBCを利用したことで、アクチュエータの高密度実装、ならびに大面積化が比較的容易であるという特長が実現されている。しかしながら、現時点ではアクチュエータ 1 本あたり約 6mm 幅となっており、人間の髪の毛の密度が平均で約 200 本/cm²であることを考えるならば、細線状柔軟アクチュエータを髪の毛と同程度の密度で実装することは容易ではない。そこで本研究では、細線状柔軟アクチュエータそのものを毛として利用するのではなく、細線状柔軟アクチュエータに毛状の装飾を施すこととした。これにより、アクチュエータの実装密度がそれ程高くない状態であっても、生物らしさを兼ね備えた、起伏制御の可能な毛状インタフェースの実現が可能になると期待される。本稿ではまず 88 本の細線状柔軟アクチュエータを実装し、多数のアクチュエータが集合した状態での課題とその改善策について検討を行う。ついで細線状柔軟アクチュエータに毛状の装飾を施し、生物らしさを兼ね備えた、起伏制御の可能な毛状インタフェースの試作を行った。

2. 関連研究

これまで OUI に関連して、Rekimoto らの SmartSkin[10] や、Schwesig らの Gummi[11]など、多くのシステムが開発されている。これらは皮膚のような柔らかい表面や紙のように自由に折り曲げられる素材など、柔軟で容易に変形可能であるという点に着目して開発されており、典型的な OUI であると言えることができる。しかし本研究で着目する、生物同士のコミュニケーションという観点については特に言及されていない。一方生物的な振る舞いを取り入れた OUI の例としては、Inflatable Mouse[12]や Thrifty Faucet[13], Tentacles[14]などを挙げることができる。これらは Hairlytop Interface と同様に、生物らしい動作の表現に成功している。しかしながらスケラビリティという観点では、十分に考慮されているとは言えない。これに対して Hairlytop Interface の場合、構成要素が軽量シンプルであることによる高いスケラビリティ、すなわち配置の自由度が極めて高いという特徴が実現されている。これにより例えばスマートホンなど、身の回りの物体と組み合わせることで、その物体そのものを OUI として再構成することが可能であると考えられる。一方前述のシステムの場合、すでに単体での完成度が高いため、そのような自由度を実現することは難しい。

また、毛に着目したデバイスについても多数開発がすすめられている[7][8]。しかし、これらの研究において毛状素材は、毛状素材の持つ柔軟性や親しみやすさが重視されており、毛状のサーフェスが生き物のように能動的に動くことによってユーザとコミュニケーションを図るといった側面についてはほとんど言及されていない。上

間には天然毛皮に振動を付与することで、その毛の立毛を制御可能な装置を実現している[9]。しかし、このシステムでは特定の動物の毛が必要であり、立毛部位の細かな制御が困難であるという問題点がある。しかしながら Hairlytop Interface の場合、視覚刺激を変更することで屈曲部位・量の自由な制御が可能であるという特徴が実現されている。

3. 大面積版 Hairlytop Interface の試作

今回試作した、大面積版の Hairlytop Interface の写真を図 2 に示す。試作した大面積版 Hairlytop Interface では全部で 88 本の細線状柔軟アクチュエータを縦 1.2cm 横 2.5cm おきに、11×8 で配置している。各細線状柔軟アクチュエータのサイズと回路を図 3 に示す。発熱収縮性のある SMA アクチュエータへ印加する電流をフォトトランジスタによって制御し、アクチュエータの駆動制御を行っている。映像表示装置からフォトトランジスタに対して入射される光の量によってフォトトランジスタに流れるベース電流が変化し、これをトランジスタの増幅回路によって増幅して SMA に適量の電流を印加している。すなわち、各ユニットの屈曲量は映像輝度の増大に伴って大きくなる。これは DBC(Display -Based Computing)[4]に基づく手法であり、アクチュエータの数や実装密度に影響されることなく、視覚ディスプレイ上の映像を通じた全アクチュエータの一括制御が可能となっている。加えて DBC を用いることで、アクチュエータ間に電源以外の配線が不要となり、よりシンプルな構成が実現されている。

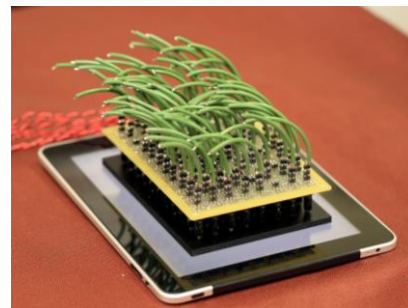


図 2 大面積版 Hairlytop Interface の試作

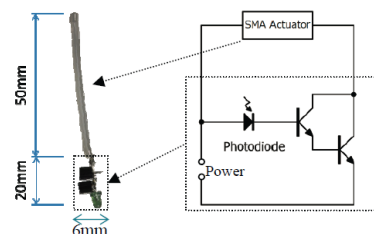


図 3 柔軟アクチュエータの構造

大面積版の Hairlytop Interface を試作し、動作させた結果、さらなる大面積化にあたっては、電力・屈曲のばらつき(量・方向)の改善が必要であることが判明した。以下ではこれらについて、その詳細と改善の提案を述べる。

4. Hairlytop Interface の改善

4.1 PWM 制御導入による消費電力改善

Hairlytop Interface はユニット内部の SMA に電流を印加することによってその挙動を制御している。しかし、一本のアクチュエータの駆動に必要な電流は最大で約 200mA にもなっており、本格的な大面積版の Hairlytop Interface の開発に際しては、消費電力の低減が大きな課題の 1 つであった。そこでまず、PWM (Pulse Width Modulation) による低消費電力化を試みた。図 4 の回路を用いて連続電流を印加した時と同じ屈曲量でのアクチュエータで消費される電力の比較実験を行った。本実験は ArduinoUno によってアクチュエータの屈曲量を任意に設定し、この時の矩形波の Duty 比からアクチュエータで消費される電力の計算を行い、連続電流を印加した場合と比較した。屈曲量は図 5 に示すようにアクチュエータの後ろに方眼紙を置き、目視によって先端位置の変化量を読み取っている。結果を表 1 に示す。この実験により、PWM によって制御することで 200mA の連続電流を流すことなく同じ屈曲量が得られ、消費電力が大幅に低減するという結果が得られた。

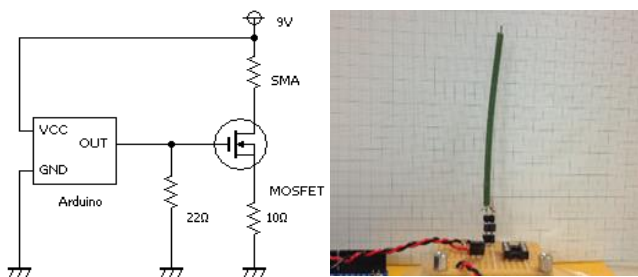


図 4 PWM 実験回路

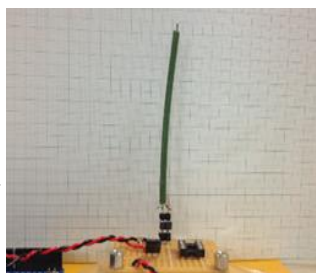


図 5 屈曲量測定手法

表 1 消費電力の比較

	連続電流印加	PWM 制御
消費電力 [W]	1.176	0.2942

4.2 屈曲のばらつきについての検討

今回試作した大面積版 Hairlytop Interface では、88 本の細線状柔軟アクチュエータの屈曲方向と屈曲量が完全には揃わず、ばらついている様子が観察された。本節ではこのばらつきについて、評価ならびに改善に向けた考察を行う。

4.2.1 屈曲方向のばらつき

試作した大面積版 Hairlytop Interface では、原理的に単一の方向にしか屈曲できない構造となっている。しかしながらアクチュエータ毎に、屈曲方向にはばらつきが観察された。ばらつきの要因の検証を行うため、まず屈曲方向のばらつきについて評価を行った。実験は図 6 に示すように全分度器の中央に柔軟アクチュエータを設置し、屈曲方向角を測定するものである。大面積版 Hairlytop Interface で利用した細線状柔軟アクチュエータからランダムに 5 本を選び、屈曲方向について測定した結果を

表 2 に示す。屈曲方向角が 0 deg であれば、設計通りに

屈曲していることを意味する。

表 2 より、細線状柔軟アクチュエータの屈曲方向は大きくばらついている状況が観察された。しかしながら SMA の基部、SMA と回路の接合部を手で調整することで、屈曲方向のばらつきが減少したことから、ばらつきの原因としては、アクチュエータの制作過程、特に SMA と光センサ等回路への接合部のばらつきが大きく影響しているものと推測される。この柔軟アクチュエータユニットの屈曲には SMA のごくわずかな収縮作用を利用しているため、屈曲方向は SMA の取り付け位置に大きく作用されることが考えられる。

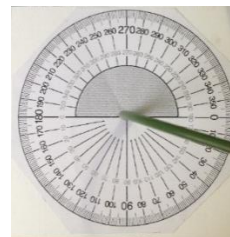


図 6 屈曲方向のばらつきを評価する実験

表 2 屈曲方向のばらつき

サンプル番号	1	2	3	4	5
屈曲方向角[deg]	-7	40	-17	-11	-45

4.2.2 屈曲量のばらつき

続いて、屈曲量のばらつきについての評価を行った。2 つのサンプルを用いて 4.1 で製作した PWM 制御回路を使い、屈曲量と PWM Duty 比の関係を測定する実験を行った。結果を図 7 に示す。2 本のアクチュエータは 30mm 以上の屈曲量のばらつきがみられた。両アクチュエータを分解し、SMA を比較したところ、長さの差が見られ、また片方には取り付け部分のたるみも見られた。収縮する SMA の長さが異なることとアクチュエータにかかる張力の差によって屈曲量にばらつきが生じていたと考えられる。このため 4.2 の結果とあわせて、柔軟アクチュエータのばらつきを改善するためには SMA の接続と配置を揃えることが必要であるが、より詳細な検証が必要である。

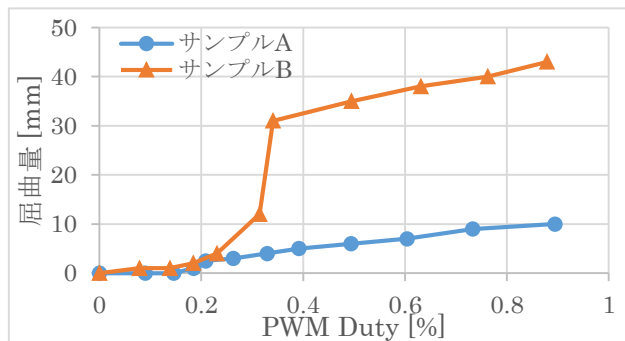


図 7 PWM Duty と屈曲量

5. Hairlytop Interface の OUI 応用

5.1 起伏制御の可能な毛状インタフェースの試作

Hairlytop Interface を使い、毛のような見た目と触覚を容

易に実現させるため、毛状のインタフェースへの応用として図 8 に示すような毛状ディスプレイの試作を行った。

これは **Hairytop Interface** の細線状柔軟アクチュエータに動物の毛を巻き付け、配置したものである。生物らしさを兼ね備えたインタフェースへの開発向け、この毛状ディスプレイを通じて人がどのような感覚を抱くのかアンケート調査を行った。アンケートは自由記述形式で、4人の20代男性が参加した。細線状柔軟アクチュエータ全体が均一に屈曲動作を繰り返し行う状態に固定した上で、参加者はその動作を観察し、実際に触れてもらった。その後、感想を書いてもらうという流れになっている。アンケートでは、触ったときのアクチュエータの触覚が尻尾のようである、アクチュエータが屈曲する際に発する熱によって生物らしさが感じられたという感想が得られ、概ね生物らしさの表現が実現されているものと推測される。一方で毛状インタフェースに触れたときの押し返しが弱い点や、柔軟アクチュエータの温度が屈曲時間に比例して高くなるといった点が問題点として指摘されており、今後の改善が必要であると考えられる。同時に、一方向よりも多方向の屈曲機能があればより生物らしさが出るのではないかと、といった提案も出されており、今後これらのコメントに基づいて、新たなインタフェースの開発を行っていく。

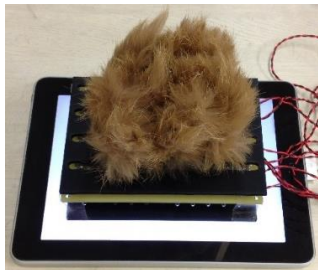


図 8 試作した毛状ディスプレイ

6. おわりに

本報告ではまず **Hairytop Interface** と OUI の関連性について議論を行った。そして OUI への応用を念頭に、まず大面積化を想定した **Hairytop Interface** を構成した。そして本格的な大面積化に向けて、消費電力および屈曲量・方向のばらつきについて評価・検証を行い、改善策について議論を行った。その上で OUI への応用として、**Hairytop Interface** に毛状の装飾を施し、生物らしさを兼ね備えた、起伏制御の可能な毛状インタフェースの試作を行った。今後はアンケートと基礎評価の結果を踏まえて屈曲動作や発熱などを考慮し、生物らしさを兼ね備えた OUI として開発を進めていく予定である。

参考文献

[1] Vertegaal, R., and Poupyrev, I. Organic user interfaces. *Communications of the ACM*, 51, 6. (2008), 26-44.
[2] Girouard, A., Vertegaal, R. and Poupyrev, I. Second international workshop on organic user interfaces. In *Procs*

of the 5th international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction (TEI '11). (2011), 381-384.

- [3] Rekimoto, J. Organic interaction technologies: from stone to skin. *Communications of the ACM*, 51, 6. (2008), 38-44.
[4] 稲見昌彦, 杉本麻樹, 新居英明, *Display-Based Computing* の研究第一報 画像提示曾於うちを主体とした実世界指向情報システム, 日本バーチャルリアリティ学会第10回大会予稿集, pp.441-442, 2005
[5] 大出慶晴, 川口紘樹, 野嶋琢也, “視覚ディスプレイ上で利用する光駆動型柔軟触覚インタフェースの提案”, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol.17, pp.658-661, 2012
[6] Nojima, T., Ooide, Y. and Kawaguchi, H. Hairytop Interface: an interactive surface display comprised of hair-like soft actuators. In *Procs of the 13th World Haptics Conference*, (2013), 431-435
[7] Nakajima, K., Itoh, Y., Tsukitani, T., Fujita, K., Takashima, K., Kitamura, Y. and Kishino, F. FuSA2 Touch Display: a furry and scalable multi-touch display. In *Proc. ITS2011*. (2011), 35-44
[8] Flagg, A., Tam, D., MacLean, K., and Flagg, R. Conductive fur sensing for a gesture-aware furry robot. In *IEEE Haptics Symposium*, (2012).
[9] 上間裕二, 古川正紘, 常盤拓司, 杉本麻樹, 稲見昌彦, “振動による立毛現象を利用した毛並み制御手法”, 日本ソフトウェア科学会誌 コンピュータソフトウェア, Vol.28, No.2, pp.153-161, 2011
[10] Rekimoto, J. SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. In *CHI'02 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, (2002), 113-120
[11] Schwesig, C., Poupyrev, I., Mori, E. Gummi: a bendable computer. In *CHI'04 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, (2004), 263-270
[12] Kim, S., Kim, H., Lee, B., Nam, T.-J., and Lee, W. Inflatable mouse: Volume-adjustable Mouse with Airpressure-sensitive Input and Haptic Feedback. In *CHI'08, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (2008), 211-214.
[13] Togler, J., Hemmert, F., and Wettach, R. Living interfaces: The Thrifty Faucet. In *Procs of the 3th international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction TEI'09*, (2009), 43-44
[14] 中安翌, 富松潔, “Tentacles: 形状記憶合金アクチュエータを用いたイソギンチャクの触手の蠢きの表現”, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, Vol.17, No.4, 2012.