

# 皮膚感覚インタフェースの現状と展望

東京大学 篠田裕之

## The Present and the Future of Cutaneous Interfaces

Hiroyuki SHINODA The University of Tokyo

**Abstract:** Expectation for cutaneous interfaces is on the rise. This manuscript reviews the current objectives of cutaneous interface studies. Then variation and technological achievements of the devices are summarized while some interesting approaches are picked up. The near future of the network-oriented society with ubiquitous devices will require new types of cutaneous interfaces. The technological choices available to realize such new interfaces have also increased.

### 1. はじめに

皮膚感覚の工学応用に関する研究が数多く報告されるようになってきた。今後はさらにユビキタス環境での新しいインタフェースとして、または人間と共存するロボットとのインタフェースとして、あるいは、知能を科学的に理解する手がかりとしても皮膚感覚に関する研究が新しい展開を見せていく可能性がある。以下ではこれまでに開発された皮膚感覚インタフェースを、その開発目的と、実現方法という二つの軸から整理し、近未来を展望する。

### 2. これまでの皮膚感覚インタフェースの開発目的

皮膚への情報提示に関する研究は、これまで概ね以下のような目的に向かうものであった。これらの分類ではおさまきれない研究も見られるが、その具体例については次章で言及する。

#### 1) 視覚・聴覚の補強

福祉応用は、皮膚感覚インタフェースの実用化が最も早くから進んでいた領域である。ピン配列を圧電素子で上下させて点字や文字のパターンを提示する Optacon はその代表的デバイスである。ピン配列の振動分布の運動パターンによって文字形状の提示とは異なる形態で情報を伝達する試みもある[1]。またファントムセンセーションによって振動体の中間位置を定位させたり[2]、振動子のアレイを装着することで、障害者に方角を伝達する研究も古くから行なわれている。「皮膚感覚」インタフェースではないが、皮膚表面に与えた電気刺激によって麻痺した手足を動かしたり、発声を補助したりするシステムも多くの研究が蓄積されている。

#### 2) 計算機・通信の入出力デバイス

キーボードやマウスはすでに一種の皮膚感覚インタフェースとも言えるが、これをさらに発展させたフィードバック機能付きのマウスが既に複数開発されている。ディスプレイ上の視覚情報だけではなく、マウスのポインタの位置に連動して、段差を通過したような感覚やテクスチャによる振動などを、マウスを持つ指先やマウス全体にフィードバックする。これによって操作性の向上や一部の触感の伝達が可能となる。インターネットにおいて、製品の外見だけでなく、触感も伝達したいというニーズは強い。

#### 3) 遠隔操作・仮想物体操作の支援

内視鏡手術は既に一般的な手術手法となっているが、操作

者への触覚フィードバックがないことが手術を難しくしている。まずは力覚のフィードバック、次に必要とされるのが、皮膚への圧力分布[3]や、滑り、摩擦などの情報であると考えられている。あるいは、操作する物体への接触の有無を振動等で伝達するだけでも[4]操作は容易になる。また宇宙服や防護服などを着込んだ状態で、服表面の接触状態を皮膚に伝達する技術も期待されている。

#### 4) パーチャルリアリティ (VR) の基礎的研究

特定の応用を設定せずとも、皮膚感覚の VR 技術を確立することは重要な課題である。これまで開発されてきた皮膚感覚インタフェースの多くは、すでに広義の VR に含まれているが、VR としての本来の目標は、あたかも本物が触れているかのような触感を自在に合成する装置を実現することであろう。このような提示装置と、触感を忠実に検出するセンサの一对は、皮膚感覚を理解し、それを工学的に応用していくために不可欠な基本ツールであるが、現時点では標準となり得るデバイスは完成していない。

### 3. 皮膚と相互作用する方法

皮膚感覚インタフェースの技術は、皮膚を刺激する物理的方法、皮膚を刺激する情報を生成する技術とセンサの技術、それらを組み合わせるシステム化と応用の方法論、に細分される。紙数の都合から、その全てに言及することができないため、ここでは皮膚への刺激の物理的手段と、最近提案された興味深いインタフェース構成法のいくつかを紹介する。皮膚の感覚を検出するセンサについては他の解説[5]を参照していただきたい。

皮膚への刺激の方法としては、オプタコンのようにピンを上下させるタイプ、振動の伝達、マウスの能動ボタン、など機械的な運動を介するものが一般的である。そのときの複雑な機構を避けるために静電型アクチュエータを用いる方法[6]、装着部の構造を簡単にするために空気圧を用いる方法[3]、硬い機械部品ではなく柔らかいアクチュエータ材料の利用[7]などが提案されている。最近では、機械的な運動を用いずに、電氣的刺激によって触覚を生じさせる方法[8]、超音波を利用する方法[9]が研究されている。また直接神経に電気刺激を与える神経インタフェースも研究が始まっている[10]。

皮膚感覚の提示法としては、皮膚にデバイスを装着してしまうタイプと、表面を指で自由に触るタイプがあるが、後者においては人間の指と対象物との間の摩擦を制御することで

も多様な情報が伝達できる[11,12]。例えば触運動の中でテクスチャや凹凸感を体感させることも可能である。あるいはスクリーン手前に配置された透明シートの張力を接触位置に応じて変化させ、コンプライアンスを制御するシステム[13]では、受動的な硬さを変化させることで物体の存在を感じさせている。

また皮膚の知覚の機構を上手に利用した例として、接触面積を制御して柔らかさを提示するデバイス[14]がある。あるいは皮膚の構造に基づいて受容器を選択刺激することで、触感を制御する試みとして、応力の伝達特性を利用する研究[15]や受容器ごとに軸索の方向が異なることを利用する研究[8]が報告されている。人間の視覚がR・G・B三つのフィルタ出力で光のスペクトル情報を知覚していることを利用して、カラーテレビが実現されたように、人間の触感を形成する最小数の刺激プリミティブ[16]を見極めることも重要な作業であろう。

その他に最近提案された面白い発想のデバイスとして爪装着型の接触センサがある[17]。普通の発想では、接触センサは指と対象物の間にあって圧力を検出するが、このセンサは、指の上から爪の色を見ることで指と対象物との接触圧を間接的に計測する。指は直接対象物に触れることができるので物体の操作に支障が生じない。また SmartTouch と称するコンセプトも面白い[18]。人間の皮膚のセンシング能力を強化する層を指に装着する、という考え方である。その一つの形態として、外側に光センサアレイ、内側に電気刺激素子アレイが配列された層を指先に装着することにより、指で光学的な模様を読み取るインタフェースがデモンストレーションされている。

#### 4. 皮膚感覚インタフェースの近未来

最後に皮膚感覚インタフェースを取り巻くニーズと周辺技術に関する特徴的な状況をいくつか指摘しておく。ひとつは今後数年間で、ユビキタス化が大きく進展していくことである。初期の計算機においてはキーボードがほとんど唯一の入力デバイスであり、そこにGUI化とともにマウスが加わった。これらのインタフェースは当分の間変わらないようにも思われていたが、ノートパソコンを携帯するようになってマウスを使わない人が現れ、携帯電話のメールの文字入力においてはキーボードと全く異なるインタフェースが定着した。既にタッチパネルに振動をフィードバックする機能をもたせた携帯端末なども具体化しているようであるが、今後さらにコンピュータやネットワークとの接し方が変化していく中で、皮膚感覚インタフェースにも新しい活躍の場が眠っている可能性は大きい。特に最近では、人間が命令し計算機が応答する、というモデルの情報システムから、互いに自律性をもって相互作用するシステムへの期待が高まってきており[19]、そのインタフェースとなる感覚としては、触覚、皮膚感覚が主役になる可能性も小さくない。

もう一つの技術的背景として、高集積度のLSIやMEMSが比較的容易に設計可能な環境が整ってきたことも重要である。センシングの処理や通信機能を1mm角以下のシリコン

チップに収めることも可能であり、これまで満足のいく性能が得にくかった皮膚感覚のセンサも近々大きく進展する段階にあると思われる。また皮膚の状態を検出し活用するためのセンサをはじめ、皮膚に装着可能なデバイスの選択肢も広がると予想される。これらは今後新しい皮膚感覚インタフェースが生み出される原動力の一つになると考えられる。

なお皮膚感覚インタフェースの開発を支える科学的知見が依然不十分であることも、現時点の課題として指摘しておく。例えば視覚において三原色を検出する受容器が存在することや、それらがどのような感度特性をもっているかは、概ね科学的に十分な理解に到達している。しかし触覚においては各受容器が皮膚の変形に対してどのような検出特性をもっているかについては、依然部分的な知識しか得られていない。視覚受容器に到達するのが光強度のスカラー場であるのに対し、触覚ではテンソルを考えなければならないことが問題を難しくしている。近年は神経電位を観測する技術が進歩し、それを利用して受容器や知覚の特性を特定しようとする研究が続けられている(例えば[20])が、これが明確になれば皮膚感覚インタフェースの進展も加速すると思われる。

#### 参考文献

- [1] 本間, 井野, 黒木, 泉, 田邊, 伊福部: 指先型触覚ディスプレイによって伝達される情報量, 日本VR学会第8回大会論文集, 2A1, 2003.
- [2] 新丘, 伊福部, 吉本: ろうあ者用触知音像定位装置の基礎的研究, 日本音響学会誌, Vol. 33, pp. 250-258, 1977.
- [3] G. Moy, C. Wagner, R.S. Fearing: A Compliant Tactile Display for Teletaction, Proc. IEEE Int Conf. Robotics and Automation, pp. 3409-3415, 2000.
- [4] 田村, 矢野, 岩田: ウェアラブル振動子アレイにおける物体知覚特性, 日本VR学会第8回大会論文集, 2A1, 2003.
- [5] 篠田: 接触センシングの現状と今後の展開, 日本ロボット学会誌 Vol. 20 No. 4, pp.385-388, 2002.
- [6] 石井, 山本, 樋口: 薄型静電リニアアクチュエータを用いた皮膚感覚ディスプレイ, 電気学会論文誌 E, Vol. 122-E, No. 10, pp. 474-479, 2002.
- [7] 昆陽, 田所, 高森, 小黒, 徳田: 高分子ゲルアクチュエータを用いた布の手触り感覚を呈示する触覚ディスプレイ, 日本VR学会論文集, Vol. 6, No. 4, pp.323-328, 2001.
- [8] 梶本, 川上, 前田, 館: 皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気触覚ディスプレイ, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-D-II, No. 1, pp. 120-128, 2001.
- [9] T. Iwamoto, T. Maeda, H. Shinoda: Focused Ultrasound for Tactile Feeling Display, Proc. 2001 International Conf. on Artificial Reality and Telexistence, pp. 121-126, 2001.
- [10] M. Shimojo, T. Suzuki, A. Namiki, T. Saito, M. Kunimoto, R. Makino, H. Ogawa, M. Ishikawa, K. Mabuchi: Development of a system for experiencing tactile sensation from a robot hand by electrically stimulating sensory nerve fiber, Proc. IEEE ICRA, pp. 1264-1270, 2003.
- [11] T. Watanabe and S. Fukui: A Method for Controlling Tactile Sensation of Surface Roughness Using Ultrasonic Vibration, Proc. 1995 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Vol. 1, pp. 1134-1139, 1995.
- [12] T. Nara, M. Takasaki, T. Maeda, T. Higuchi, S. Ando, and S. Tachi: Surface Acoustic Wave (SAW) Tactile Display Based on Properties of Mechanoreceptors, Proc. IEEE VRAIS, pp. 13-20, 2001.
- [13] 上杉, 井上, 笹間, 新井, 前: 柔軟シートを用いた視覚・触覚ディスプレイの開発 - シート透過型視覚ディスプレイの提案 -, 日本VR学会第8回大会論文集, 3A1, 2003.
- [14] 池田義明, 藤田欣也: 指先接触面積と反力の同時制御による仮想柔らかさ提示システムの開発と評価, 日本VR学会第8回大会論文集, 2A2, 2003.
- [15] N. Asamura, N. Yokoyama and H. Shinoda: Selectively Stimulating Skin Receptors for Tactile Display, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 18, No. 6, pp.32-37, November-December, 1998.
- [16] 牧野, 浅村, 篠田: 吸引圧を用いるマルチプリミティブ触覚ディスプレイ, 日本VR学会第8回大会論文集, 2A2, 2003.
- [17] S. Mascaro, K. W. Chang, and H. Asada: Photo-Plethysmograph Nail Sensors for Measuring Finger Forces without Haptic Obstruction: Modeling and Experimentation, Proc. IEEE ICRA, pp. 962-967, 1999.
- [18] H. Kajimoto, M. Inami, N. Kawakami, and S. Tachi: SmartTouch - Augmentation of Skin Sensation with Electrocutaneous Display, Proc. 11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 40-46, 2003.
- [19] 安西, 松山: ITの深化の基盤を拓く情報学研究 研究成果報告書 A03, 平成14年度文部科学省科学研究費補助金特定領域研究, 2003.
- [20] F. Vega-Bermudez and K. O. Johnson: SA1 and RA Receptive Fields, Response Variability, and Population Responses Mapped with a Probe Array, The American Physiological Society, pp. 2701-2710, 1999.