

# 簡易な触覚増強機構を備えた小型入力装置の試作と操作性評価

熊澤逸夫（東京工業大学 像情報工学研究施設）

## 1. はじめに

小型・高機能化した携帯電話を持ち歩いてインターネットにアクセスすれば、いつでもどこでも必要な情報を入手できる便利な社会となったが、小型化した機器は携行に便利な反面、ディスプレイの画面やキーピッチが小さくなるため、文字が読みづらく、キーを押す際に指先が混乱しやすく、操作性が低下する。機器の小型化と使い易さは原理的に両立不可能な要求であるように思われるが、本稿では触覚フィードバックを増強する機構を導入することによって、小型入力装置の操作性を改善することを試みてきたので、これまでの試作例と評価結果について紹介する。

## 2. 触覚フィードバック機構の小型簡易化

触覚及び力覚フィードバック機構が各種提案されている。まずハプティックインターフェイス研究の先駆けとなった SPIDAR[1]はその名前が示唆するように糸を使って力覚フィードバックを生成し、3次元空間内で多自由度の力を生成する。また多関節機構を用いて指先に力覚フィードバックを加える PHANTOM[2]はメンテナンスが容易で商業化に成功したが力の自由度は制限される。これらの装置を小型携帯機器のユーザインターフェイスに利用する場合には、装置が大型であることや動力源が電力を消費することが問題である。一方、小型化可能で携行に有利な方式として、ピンディスプレイの最適構成[3]、グローブ型力覚生成装置の試作[4]、皮膚感覚神経を選択的に刺激する電気刺激装置[5]等が研究されているが、日常使用するには煩わしさを感じやすい。こうした問題点を鑑み、本稿の方式は、従来のカーソルキーやジョイスティックのように気軽に使用できる形態とし、小型・軽量・低消費電力化を重視した。

## 3. 触覚増強機構による触空間の拡大

虫メガネでディスプレイ画面を拡大すれば、小さな文字も大きくなり読み易くなる。このことから類推すると、タッチタイプで触覚を頼りに機器を操作する際に触覚で感じる空間を知覚上拡大する手段があれば、狭く並んだ小さなボタンを十分離れた大きなボタンのように感じて、入力装置の操作性が向上することが期待できる。装置のコストとサイズを度外視すれば、このように触空間を拡大する機構は図1に示す装置で実現できる。

図1中のプローブは指先の動きに連動して移動し、移動位置における対象表面の高さを計測する。またアクチュエータは指先に追従して移動しながらプローブが計測した高さに基づき突起を上下に動かして指先の触覚を刺激する。例えば、対象表面の凹凸間隔と高低差が数ミクロン程度であるときに、この表面を直接指先で触れても凹凸を感じることはできないが、図1の装置で指先が1mm移動するときにプローブが1ミクロン移動するように指先とプローブを連動させ、またプローブが検出した表面の高低差を千倍に拡大して突起を上下に動かせば、人は指先の移動中に上下に動く突起を仮想上の表面の凹凸のように錯覚し、対象表面の微細な凹凸を触覚的に拡大して感じとることができる。このようにミクロな凹凸に接触する感触を拡大する手法はマイクロマニピュレーションシステムの操作性向上のために応用されている。

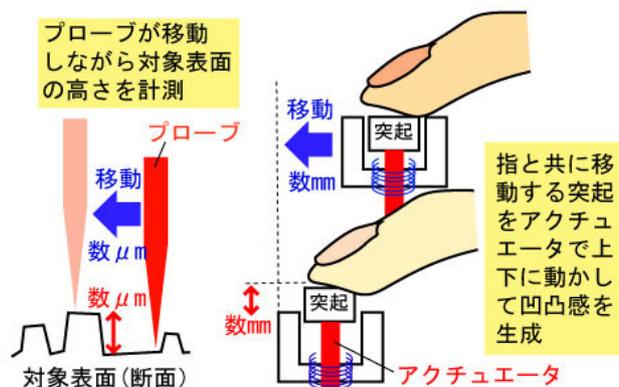


図1  $\text{プローブの移動量} = \text{指の移動量} / 1000$   
 $\text{突起の上下動量} = \text{表面の高低差} \times 1000$

† Evaluation of user-friendliness of a small input device with simple tactile feedback

Itsuo Kumazawa (Tokyo Institute of Technology, Imaging Science and Engineering Laboratory)



図2 人工的手段で強調・修正

図1に示す装置を小型入力装置に実装して仮想上のキーピッチを拡大すれば操作性を改善できるように思えるが、キーピッチの拡大に伴い仮想上のキーを押す指先の運動範囲が広がるため入力装置は大きくなってしまふ。図1の装置では図2に示す人の運動感覚系のフィードバックループの作用と応答の両者を人為的に操作して、指先の運動範囲と触覚刺激を共に拡大しているが、入力装置を小さく構成するためには、指先の運動量を小さく抑えながら感覚フィードバックを強調し、僅かに指先を移動するだけで指先に触れる表面の凹凸が大きく変化してボタンが明瞭に分離して感じられるようにする必要がある。

#### 4. 運動感覚空間の歪みの利用

物理的に時空間にワープを生じさせることは困難であるが、知覚上の空間を歪ませることは容易である。例えば、図1の装置で現実の凹凸表面との対応を無視すれば、指先を僅かに移動したときに突起を大きく動かして指先の感じる凹凸感を大きく変えることができる。現実の凹凸表面では指先を大きく移動しない限り凹凸感も大きくは変わらないので、指先を僅かに移動するだけで指先に触れる凹凸が「もこもこ」と急に変わる感触は奇妙な体験である。この奇妙さは運動に対する触覚フィードバックが矛盾するために生じるのであるが、一見悪影響になりそうなこの矛盾をうまく利用して操作性の良い入力装置やユーザインターフェイスを構成することが我々の研究目標となる。例えば、微小な指の動きに対する触覚フィードバックが強調されて、凹凸感の差異が明瞭になれば、人はこの強調された凹凸感の差異を手掛かりとして指先をコントロールする精度を向上できる。運動精度が高まれば、狭い操作パネル上でも指先が混乱せずに多様な情報を入力できる可能性がある。

#### 5. 入力装置の試作と評価

図3に試作した装置を示す。指先の僅かな移動に対して強調した触覚フィードバックを加える機構

を小型軽量、低コストに実現している。指の運動を機械的に変換して図3中のボール状突起を上下に動かして指先を刺激する。指の運動自体を突起駆動の動力源とするため電力を消費しない。試作装置では親指だけを使い9種の情報を手探りで区別して(タッチタイプで)入力できるが、1から9までの数字をこの順に10回繰り返し入力するのに25秒ほど要した。同様の作業を携帯電話で「手元を見ながら」行くと25秒、パソコンのテンキーでは17秒かかる。入力速度は携帯電話と同等だが、試作装置では2cm四方程度の狭い占有面積の中で「凹凸の感触だけを頼りに完全なタッチタイプで」入力できる。ジョイスティック等他の入力装置との大きな違いは指を動かした時に隆起する突起の感触の有無で、試作装置ではこの感触によって操作性が向上し、入力する情報を明瞭に識別しながら操作できる。

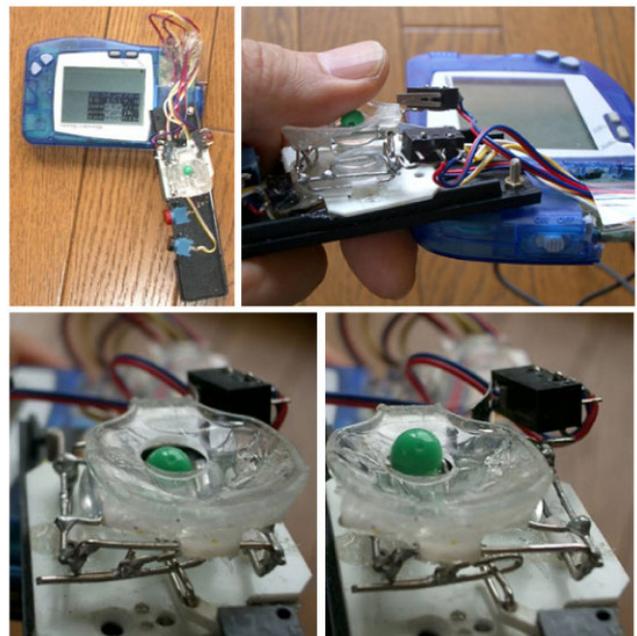


図3 触覚の虫メガネを備えたPDAの試作

#### 文献

- [1] 佐藤誠, 平田幸広, 河原田弘, "空間インターフェイス装置 SPIDAR の提案", 信学論, vol. J74-D-II, no. 7, pp. 887-894, 1991.
- [2] T.M. Massie and J.K. Salisbury, "The PHANTOM haptic interface: A device for probing virtual objects", Proc. ASME Dynamic Systems and Control Division, vol. 55, pp. 295-301, 1994.
- [3] 下條誠, 篠原正美, 福井幸男, "3次元触覚ディスプレイにおける提示ピン配置密度と形状判別特性", 信学論, vol. J80-D-II, no. 5, pp. 1202-1208, 1997.
- [4] 藤田欣也, "プローブ型仮想物体硬さ提示装置の試作と評価", vol. J81-D-II, no. 10, pp. 2394-2400, 1998.
- [5] 梶本裕之, 川上直樹, 前田太郎, 館暲, "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", vol. J84-D-II, no. 1, pp. 120-128, 2001.