
ToolStone: 多様な物理的操作を可能にする入力デバイス

ToolStone: An Input Device for Effective Use of the Physical Manipulation Vocabularies

暦本 純一 Eduardo Sciammarella *

Summary. The ToolStone is a cordless, multiple degree-of-freedom (MD-OF) input device that senses physical manipulation of itself, such as rotating, flipping, or tilting. As an input device for the non-dominant hand when a bi-manual interface is used, the ToolStone provides several interaction techniques including a toolpalette selector, and MDOF interactors such as zooming, 3D rotation, and virtual camera control.

1 はじめに

コンピュータアプリケーションの機能が增大するに従って、必要な機能呼び出すためのインタフェースが問題となる。たとえば図形描画ツールでは図形要素を選別したり、色や線種などの属性を設定するためのツールパレットが用意されているが、機能が增大していくと、大量のメニューバーやツールパレットがスクリーン領域を消費するようになり、アプリケーション本来のための面積が削減されてしまう。また、適切なツールを選択するための処理（メニュー階層をたどったり、必要なパレットを開いたり）が煩雑になってしまう。

マウスのもつ、ポインティングやドラッグなどの限られた操作語彙を組み合わせ対話技法を構築すると、画面上の対象物を視覚的に確認して選択する操作への依存性が高い。一方、現実世界の道具は、マウスと比較して多くの物理的な操作の「語彙」（回転、ひねり、傾斜、圧力など）を利用しているので、細やかな表現が可能であったり、多くの機能を単純な形態で実現することができる。また、道具から得られる物理的な感触によって、操作の状態を感じとることができる。視覚的情報に多くを依存している従来の入力デバイスと比較して、利用者の触感をより有効に利用している。

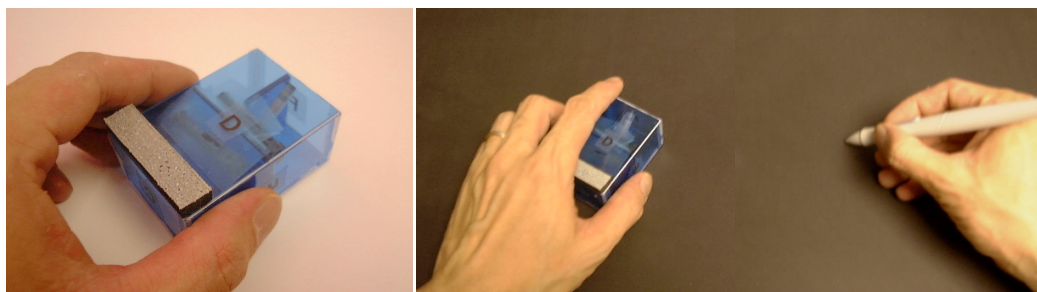


図 1. ToolStone の外観と両手インタフェースへの適用例

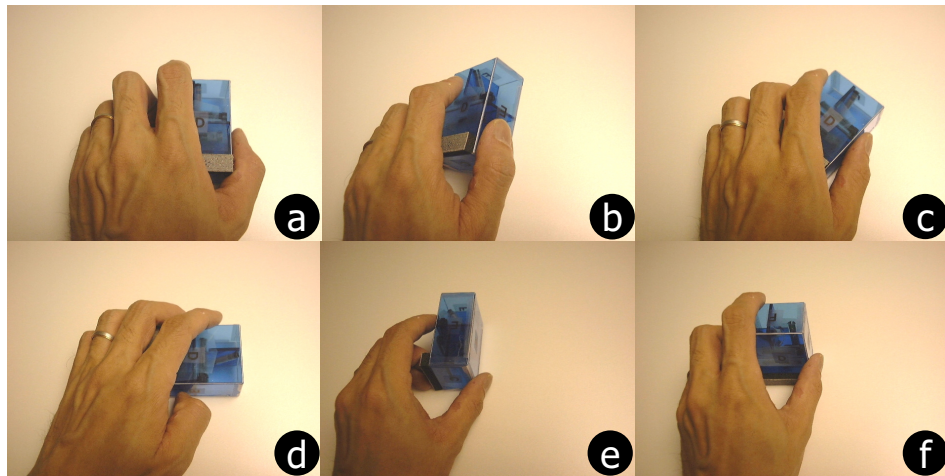


図 2. ToolStone の基本操作 : (a) 基本状態. (b) 辺を接触させたまま傾斜. (c, d) 同じ面を接触させたまま回転. (e, f) 面を切り替える.

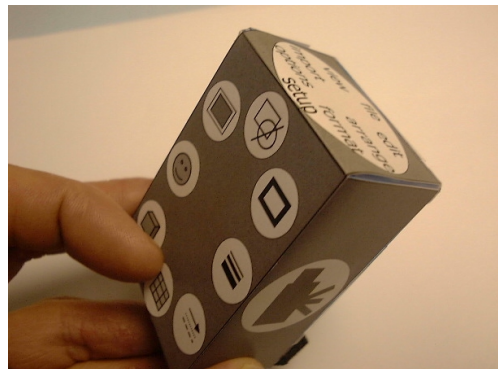
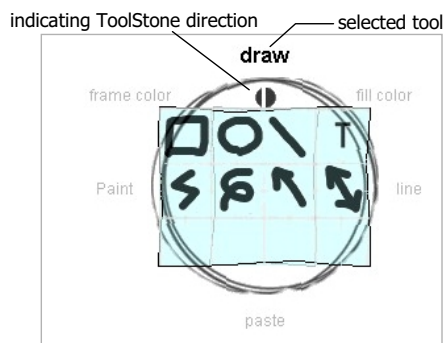


図 3. 方向と面の切替えによる操作の選択: (左: ツールパレットを選択する画面. 右: ToolStone 表面に利用可能な機能を印刷した例)

本論文では、コードレスで、位置・方向・面を認識することのできる新しい入力デバイス ToolStone を提案し、その操作インタフェースについて考察する。

2 ToolStone

図 1(左) に ToolStone の外観を示す。ToolStone は直方体型のデバイスで、タブレット上で操作することを目的として設計されている。内部に同調コイルが組み込まれており(後述する原理によって) 少なくとも一つの辺がタブレットに接触していれば、その位置・方向、タブレットに近接した面を認識することができる。

ToolStone は単独の入力デバイスとして用いることも可能であるが、図 1(右) に示すように、両手インタフェースの補助的なデバイスとして使うことを想定している。この場合、効き手はマウスやペンなどのポインティングデバイスを持ち、反対側の手に ToolStone を持って操作する。たとえば ToolGlasses [3] のような両手イン

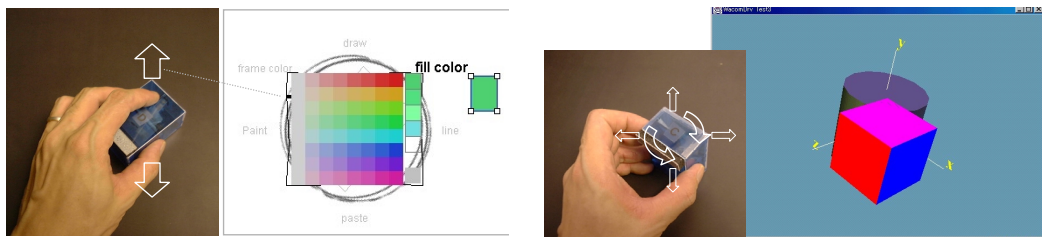


図 4. 入力デバイス全体の動きを入力として利用することで、多自由度の制御が可能になる。

タフェースで、適切なツールパレットを迅速に切り替えるための操作手段として用いることができる。

図 2 に ToolStone の基本的な操作手段を示す。通常のマウスのような水平面での移動操作に加えて、デバイス自体の方向の変化（回転）や、デバイスのどの面がタブレットに接触しているか、を入力として使うことができる。ToolStone の一つの面には突起物が装着されており、視覚によらずに、持っているデバイスの方向を確認できるようになっている。

ToolStone の面や方向に必要な機能（たとえばツールパレット）を割り当てることで、指先の迅速な操作でそれら呼び出すことができる例えば各面の 45 度ごとに異なるツールパレットを割り当てると、 $6 \times 8 = 48$ 通りのツールを一瞬の操作によって切り替えることができる。現在利用しているツールパレットのみを画面に表示するようにすれば、アプリケーション画面が他の不必要なツールパレットによって隠されることがない。

これらの操作は、慣れるに従って指先の「記憶」となり、視覚的なガイドによらず行うことができるようになる。また、強く関連する機能を、同じ面の隣接する角度に割り当てるなどの工夫によって、物理的な操作空間（ToolStone の回転や面の切り替えに要する操作の程度や時間）と、コマンド空間との間に関係性を持たせることが可能になる。たとえば CAD アプリケーションで、描画関係の機能群をひとつの面に、ファイル操作関係のツール群を別の面に割り当てることで、操作モードが大きく切り替わったことを身体的な操作としても感じるができる。さらに、頻繁に発生する連続操作、たとえば図形を描いた直後に色を設定するなどの一連の操作に習熟していくと、それを ToolStone の一連の物理操作（たとえば、「ある面を下にした直後に 45 度右にひねる」といった）のチャックとして習得することができる。

習熟する前の段階としては、画面上に可能な操作を示す（図 3 右）、あるいは ToolStone の周囲にラベルを印刷する（図 3 左）ことなどが考えられる。後者は、アプリケーションごとに専用の ToolStone を使う場合（たとえば ToolStone そのものをアプリケーションを利用するためのライセンスキーとして使う場合など）に適した方式で、初心者が、あるアプリケーションにどんな機能が提供されているかを物理的なデバイスの上で一覧することができる。

図 4（左）は色選択ツールの例である。色を選択するためには、三つのパラメータ（HSV や RGB など）を同時に制御する必要があり、マウスなどの 2 自由度の入力デバ

* Jun Rekimoto, Eduardo Sciammarella ソニーコンピュータサイエンス研究所インタラクティブラボ

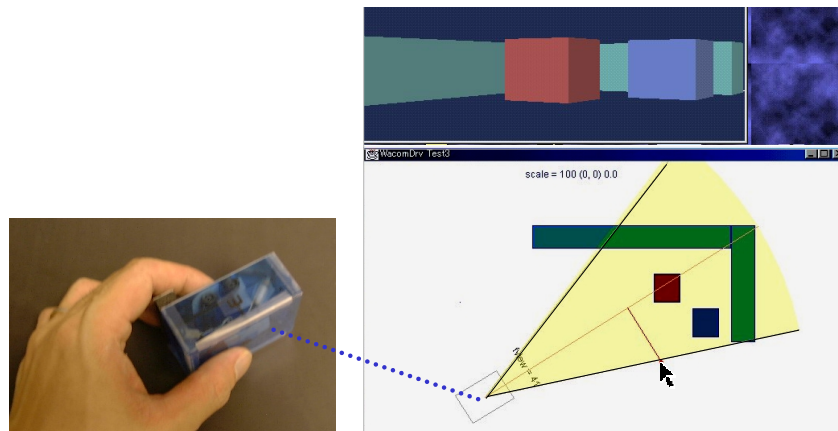


図 5. 仮想カメラの操作デバイスとしての利用: 3次元空間を撮影するカメラの位置と方向を同時に制御する。

イスではデバイスとパラメータのマッピングが不自然になる。ToolStone を使ったインタフェースでは、利き手のポインティングデバイスの 2 自由度に加えて、ToolStone 全体の前後方向の移動を第 3 のパラメータとして用いることで、3 つのパラメータを同時に制御することが可能になっている。ある機能を選択した後に、ToolStone を多自由度の制御デバイスとして用いることができる。図 4 (右) は同様にして 3 次元物体の回転を制御している例である。

ToolStone ある面全体を一つの機能に割り当てることも可能である。この場合、ToolStone の位置と方向を入力パラメータとして利用することができるので、高自由度の操作が実現できる。図 5 は、ToolStone を 3 次元空間をブラウズする仮想カメラ

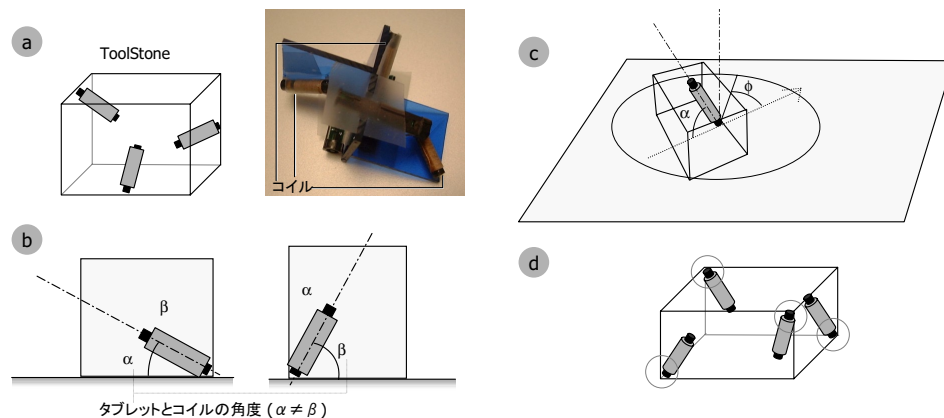


図 6. ToolStone の内部構成と認識方式: (a) どれか一本のみがタブレットと接するように 3 本のコイルが格納されている. (b) コイルの角度を計測して面を識別する. (c) コイルの接地角を既知として ToolStone の方向を計算する. (d) 別のコイル配置方法. 二つのコイルを認識して面と方向を識別する.

のコントロールに用いている例である。ToolStone の他の面に割り当てられた操作パレット等によって 3 次元空間を構築するアプリケーションでの利用を想定している。ToolStone の「カメラの面」を選択すると、ToolStone そのものをカメラのように扱って、仮想空間中の視点を直接的に制御することができる。この方法は、アニメーション作成などで登場人物の歩行パスを定義するインタフェースなどに応用可能である。

3 実現

以上のような操作を実現するためには、入力デバイスの位置・方向・タブレットに接している面の判定が必要である。操作中、デバイスを頻繁に回転させるので、コードレスで軽量であることが望ましい。既存の 3 次元入力デバイス(たとえば磁気センサー)はこの条件を満たしていないので、ToolStone のようなデバイスを実現するには適していない。

我々は、操作中にいずれかの辺が必ずタブレット面に接していることを考慮して、(WACOM のペンタブレットで採用されているような)電磁授受方式に基づく認識方式を考案した。電磁授受方式タブレットでは、各ペンにコイルとコンデンサによる LC 共振回路が組み込まれており、タブレットが発生する電磁波に対する共振の発生やその強度によって、コイルの座標や角度を測定している。また、回路の共振周波数を変えることで、複数のコイル(ペン)や、ペンの状態(ボタンの押下など)を識別している。

この原理を応用して ToolStone の状態を認識する機構を図 6 に示す。ToolStone の内部に三本のコイルを組み込んでいる (a)。ToolStone のある面がタブレット上に置かれると、コイル三本のうちの一本だけがタブレットに接するようになる。三本のコイルの共振周波数を変えてあるので、どのコイルが接しているかが判定できる。さらに、コイルの(タブレットに対する)仰角を計測すると、そのコイルを辺にもつ二つの面のうち、どちらかがタブレットに接しているかを識別することができる(図中の角度 θ と)。面が判定できると、コイルと面の相対的な位置関係から、入力デバイスそのものの位置・方向を計算することができる。

この構成によって、コードやバッテリーを必要とせずにデバイスの状態を認識することができる。現状のサイズは $2.5 \times 4 \times 5$ cm、重量は 22g で、指先で容易に回転操作などを行うことができる。

一般に使用されているタブレットでは、同時に認識できるデバイスの数に制限があるものが多い(WACOM の場合は 2 本)が、本センサー構成では、三本のコイルを組み込んでいるものの、ある瞬間は高々一本しか使用していないので、他のポインティングデバイスと併用することが可能である。たとえば、右手にペン、左手に ToolStone を持って同時に操作することが可能になる。さらに認識できるデバイスの数が多い場合は、図 6 (d) のような構成によって、より精度の高い位置・角度認識を行うことも可能である。

4 関連研究

デバイス自体の回転や傾斜を入力として用いるアイデアとして、筆者らは過去に Tilting User Interface [7] を提案している。PDA などの携帯情報機器に角速度センサーを組み込み、機器の傾斜操作でメニュー選択やマップスクロールなどの操作を可能にした。近年、ワンチップの傾斜センサーが利用可能になったため、類似の提案が多く

成されるようになってきている [6, 4, 2]。

Embodied User Interfaces [6] は PDA の周辺にセンサーを装着することで操作性を向上させている。例えば、ディスプレイの左側に触れると、自動的にメモモードに入るような利用が提案されている。Rockin' Mouse [1] はマウスに傾斜センサーを組み込んだデバイスで、マウス全体を傾斜させることで3次元オブジェクトの回転操作などを行うことができる。黒木らは、ペンの傾きによって操作種別を切り替える方式を提案している [9]。PadMouse はマウスにタッチパッドを装着したデバイスで、タッチパッド上にジェスチャーコマンドを描くことで操作モードを切り替えることができる。

Fitzmaurice は graspable user interface の発展として、面ごとに異なったコマンドを定義する flipbrick と呼ぶデバイスを提案している [5]。Want らは、立方体の各面に異なる RF タグを装着した augmented photo-cube を提案している [8]。各面の ID に異なるデータを関連づけて、RFID リーダにどの面を接触させるかでデータを切り替えることができる。これらの提案では、データの切り替えは面ごと（直方体ならば最大六種類）であるが、ToolStone では回転操作を組み合わせることで、さらに多くの操作を識別できるようになっている。

5 結論と今後の課題

本論文では、回転や面の選択などを組み合わせて入力操作とするための新しい入力デバイス ToolStone と、その対話技法、センサー構成について述べた。今後の課題として、タブレットに依存しない自立型の入力デバイスとしての展開（持ち方を変えることで機能が変化する携帯電話や PDA への応用）や、新しい物理的操作語彙（ひねり、圧力）の検討などを予定している。

参考文献

- [1] Ravin Balakrishnan, Thomas Baudel, Gordon Kurtenbach, and George Fitzmaurice. The Rockin' Mouse: Integral 3D manipulation on a plane. In *CHI'97 Proceedings*, pp. 311–318, 1997.
- [2] Joel F. Bartlett. Rock'n' Scroll is here to stay. *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 20, No. 3, pp. 40–45, 2000.
- [3] Eric A. Bier, Maureen C. Stone, Ken Pier, William Buxton, and Tony DeRose. Toolglass and Magic Lenses: The see-through interface. In James T. Kajiya, editor, *Computer Graphics (SIGGRAPH '93 Proceedings)*, Vol. 27, pp. 73–80, August 1993.
- [4] Kenneth P. Fishkin, Thomas P. Moran, and Beverly L. Harrison. Embodied User Interfaces: Towards invisible user interfaces. In *Engineering for Human-Computer Interaction: Seventh Working Conference on Engineering for Human-Computer Interaction*, pp. 1–18, 1998.
- [5] George W. Fitzmaurice. Graspable user interfaces. *Ph.D thesis, University of Toronto*, 1996.
- [6] Beverly L. Harrison, Kenneth P. Fishkin, Anuj Gujar, Carlos Mochon, and Roy Want. Squeeze me, hold me, tilt me! an exploration of manipulative user interfaces. In *Conference proceedings on Human factors in computing systems (CHI'99)*, pp. 17–24, 1998.
- [7] Jun Rekimoto. Tilting operations for small screen interfaces. In *Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '96)*, pp. 167–168, 1996.
- [8] Roy Want, Kenneth P. Fishkin, Anuj Gujar, and Beverly L. Harrison. Bridging physical and virtual worlds with electronic tags. In *CHI'99 Proceedings*, pp. 370–377, 1999.
- [9] 黒木剛, 川合慧. ペンの傾き情報を利用した入力法. *インタラクティブシステムとソフトウェア VII*, pp. 1–6. 近代科学社, 1999.