

人体形状センサのエンターテインメント応用とそのインタラクション技術

福地 健太郎

東京工業大学 情報理工学研究所
fukuchi@is.titech.ac.jp

暦本 純一

ソニーコンピュータサイエンス研究所
rekimoto@acm.org

概要: SmartSkin は格子状に配置されたアンテナで人体の形状を非接触で感知するセンサである。我々は、SmartSkin をテーブル上に設置し、その上で両腕を使って遊ぶ、複数人用ビデオゲーム「Marble Market」を試作した。本ゲームでは両腕の形状を利用して画面上に多数あるキャラクターを操作する事ができ、これまでのインターフェースとは異なる、新たな操作感を提供する。また、SmartSkin を利用した音楽演奏アプリケーションを試作した。これは、手や腕の形状を利用した新たなパフォーマンスを可能にするものである。

Kentaro Fukuchi

Tokyo Institute of Technology

Jun Rekimoto

Interaction Laboratory

Sony Computer Science Laboratories, Inc.

Summary. SmartSkin is an novel sensor architecture which recognizes multiple hand positions and their shapes as well as calculates the distances between the hands and the surface. We developed a video game “Marble Market”, that uses table sized SmartSkin and users control multiple characters on the screen by using their both arms. We also developed a musical application which allows the user to play sound by SmartSkin. This application enables new musical performance with human body recognition.

1 はじめに

SmartSkin[1] は、格子状に設置された電極と人体との間の静電容量を計測する事で、電極上の人体の形状を測定するセンサーである。センサー上の手や指先の形状・位置を毎秒 10~20 回の頻度で計測する事ができる。また、センサー面と人体とのおおまかな距離を測定する事ができ、その測定範囲は最大で 10cm 程度となっている。そのため、センサー面に触れなくとも、その上に手をかざす事で値を入力する事ができる。

従来こうした手の形状・位置認識をするためには、カメラ入力か圧力センサーを用いるのが一般的であった。しかし、カメラ入力の場合、人体を入力画像から切り出すのには困難が付きまとう。また撮像のために大きな設置空間を必要とし、さらに、カメラと人体との間に障害物が入ると計測できなくなる。また、圧力センサーを用いた場合、センサー面と人体は必ず接触しなければならないという制約があった。

SmartSkin は、電極面と小さな計測回路のみで構成されているため、設置空間はほとんど必要ない。加えて、センサー面は基本的に任意の大きさで構成する事が可能であり、運用の幅が広い。また、非接

触で形状・位置の認識ができるため、新しいインタラクション技術を可能にする。

本論文では、SmartSkin を利用した、新しいインタラクション技術によるビデオゲーム “Marble Market” について述べる。本ビデオゲームでは、複数プレイヤーが両腕を使って競う、これまでにない新しい操作感覚を実現した。また、SmartSkin を使った音楽演奏アプリケーションの実験についても述べる。

2 SmartSkin

2.1 ハードウェア概要

SmartSkin は人体の形状・位置認識のためのセンサー技術である。静電容量を計測する事で、ユーザーの手の位置の二次元座標を求めるだけでなく、手とセンサー面との間のおおよその距離を求める事ができる。センサーは複数のトランスミッタとレシーバからなり、それぞれの電極が格子状に配置されている。センサー面の大きさは自由であり、また水平面である必要もなく、曲面にする事も可能である。

図 2 は SmartSkin の概要を示す。縦方向の電極はトランスミッタに接続されており、横方向の電極はレシーバに接続されている。電極同士は絶縁されて

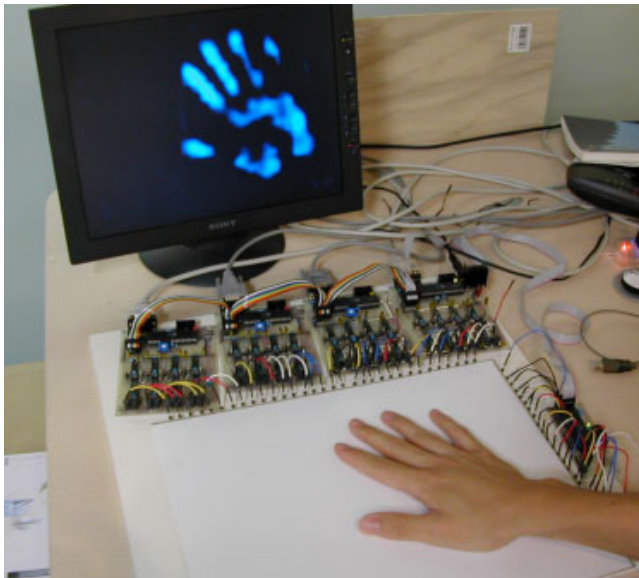


図 1. SmartSkin 外観: 写真はタブレットサイズのもの

いる。トランスミッタの一つが交流信号(数百 KHz)を印加されると、その電極と交差する電極にも、同じ交流信号が弱く流れる。これは、交点にコンデンサとして機能するためである。ここで、交点上に接地された導電物体が近付いた場合、電極間の静電容量が減少し、結果としてレシーバへと流れる電流は弱まる。人体は大きいので、接地した導電物体と同様にふるまうので、交点上に人体が接近しても同様の現象が起こる。こうして、レシーバ側で電流の強弱を測定する事により、人体を測定する事ができる。格子点上の人体が大きければ大きい程、また近ければ近い程、流れる電流は弱まる。

SmartSkin の制御部は、電流を流すトランスミッタを時分割で変更する。また、レシーバ側も時分割で電流を計測する。こうして、各格子点での静電容量を計測し、二次元のデータを得る。このデータが、センサー面状の人体の形状・位置およびセンサー面からのおおよその距離を表している。

現在までに我々は大きく分けて二種類の SmartSkin を実装している。一つはテーブルサイズのもので、これは 8×9 の電極格子を持ち、電極の間隔は 10cm となっている。デバイスと PC の間はシリアル接続となっており、毎秒 10 回程度の計測速度となっている。もう一つはタブレットサイズのもので、32×24 の電極格子を持ち、電極の間隔は 9mm となっている。デバイスと PC の間は USB 接続となっており、毎秒 20 回程度の計測速度を達成している。

テーブルサイズの実装では、細かい形状は認識できないものの、手や腕のおおまかな形状を認識する事ができる。また、センサー面から約 10cm 程度離れた人体を認識する事ができる。一方タブレット

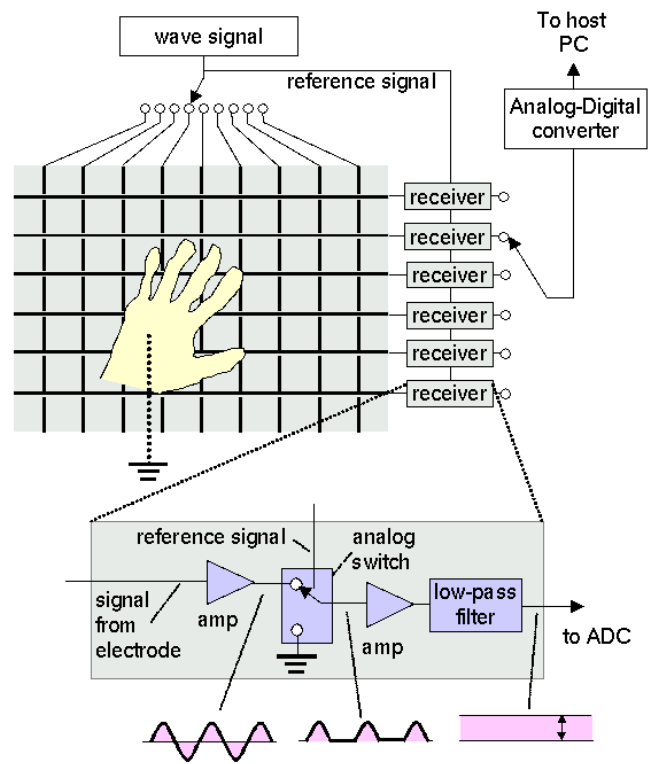


図 2. SmartSkin の構成: 格子状の電極面が手の形状・位置を計測するために使われている

サイズの実装では、全体の大きさは B4 サイズにとどまるが、指の形状まで細かく認識する事ができる。現在の実装では、センサー面から 1cm 程度が認識範囲となっている。

センサー面は、現在の実装ではディスプレイ上に直接設置する事はできない。透明電極の使用等を検討している。現在では、プロジェクターを使用して、センサー面に画面を投影するか、図 1 のように、センサー面とディスプレイを分けて使用している。

2.2 SmartSkin を利用したインタラクション技術

我々は SmartSkin を利用したインタラクション技術を開発している [2]。これまでに、タブレットサイズの SmartSkin による指先の位置・動き検出を利用して、複数の指を使った同時多点入力によるインタラクション技術を SmartSkin に適用した。その結果、画面上の複数のアイコンやオブジェクトを、両手の指を使って同時に動かす事ができるようになった。図 3 では、多点入力を使ったインタラクション例を示している。

これらは従来のマウス・ペン等によるポインティング入力を延長する技術であり、SmartSkin の特徴である、人体の形状認識については特に考慮していない。本論文では、計測された形状を積極的に利用するインタラクション技術について次節で述べる。

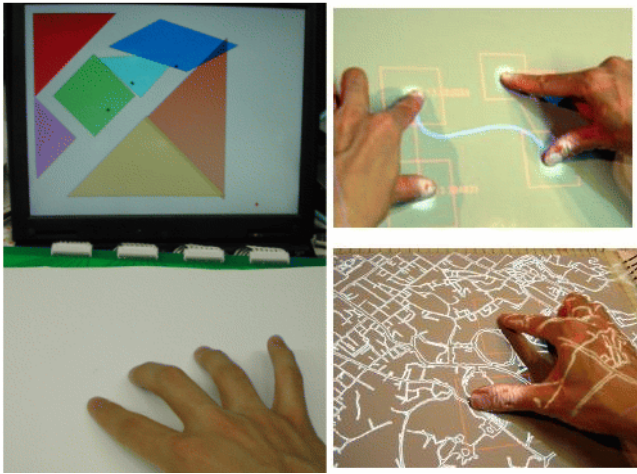


図 3. 指先による指示の例: 左の写真は、三つの指で画面
上の三つのオブジェクトを同時に操作している例。
右上の写真は、両手を使って、ベジェ曲線の4つ
の調整点を同時に動かしている。右下では指二本
で地図の回転・拡大を同時に操作している。

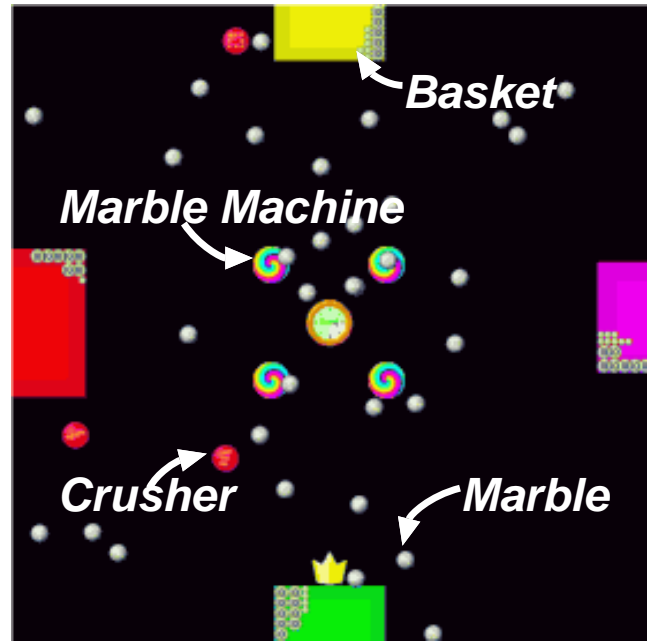


図 5. Marble Market 画面

3 Marble Market

3.1 概要

Marble Market は、テーブルサイズの SmartSkin を使用した、最大 4 人で同時に遊べるビデオゲームである。図 4 のように、プレイヤーはテーブルを囲むようにして立ち、それぞれが両手でテーブル表面を触って遊ぶ。SmartSkin の電極はテーブル天板上に敷設し、その上を厚さ 1mm 程度の木製の化粧板で覆っている。画面は、天井に吊したプロジェクターから投影している。

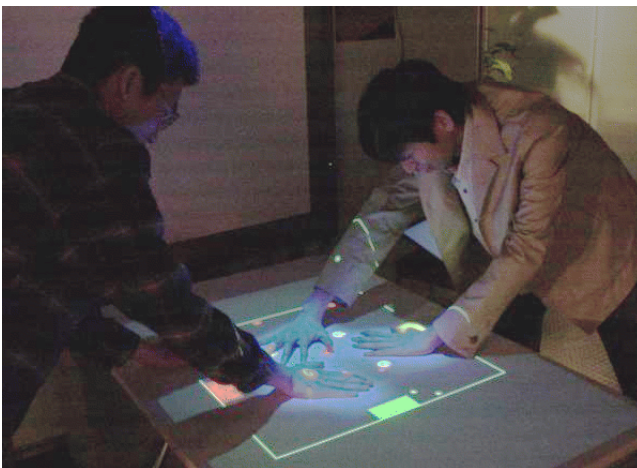


図 4. Marble Market プレイ風景

3.2 ゲームの目的

ゲームの目的は、図 5 で示される、小さな Marble を、両手を使ってかき集め、自分の色の Basket にできるだけ多く入れる事にある。Marble は画面中央に設置された Marble Machine から次々と発生する。たまに、赤色で少し大きい Crusher というキャラクターが Marble Machine から現われるが、これは Marble と接触すると Marble を壊してしまい、その上 Basket に間違えて入れてしまうと、それまで集めた Marble の 4 分の 1 が失われてしまう。また、時折普通の Marble に交じって、Marble 50 個分の価値を持つ Gold Marble や、特殊イベントを発生させる Special Marble が現われる。

3.3 SmartSkin の利用方法

Marble Market の特徴は、Marble の操作方法にある。まず、SmartSkin からの入力データを、その場所の高さだとし、これを 3 次補間して滑らかな曲面を得る(図 6)。補間して得た曲面の上を、Marble や Crusher は、物理法則に従って転がって移動する。すなわち、曲面上を高い方から低い方へと転がる。プレイヤーはこの法則を利用して、Marble を一度に大量に動かす事ができる。

入力値を高さに変換するに際して、二つの方法が考えられる。一つは、手がセンサー面に近づくにつれて、曲面を高くする方法であり、もう一方はその逆で、曲面を低くする方法である。前者の場合、Marble はプレイヤーの手から逃がれるように動く。後者の場合、Marble はプレイヤーの手に吸い込まれ

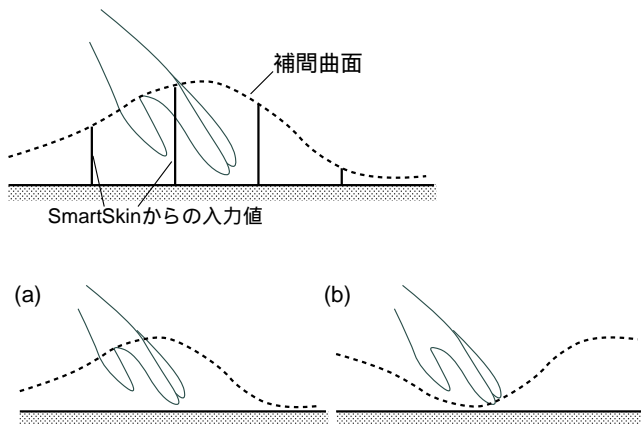


図 6. SmartSkin のデータから、滑らかな曲面を得る。入力値を高さに変換する際、人体が近付くにつれて面を高くする場合 (a) と、面を低くする場合 (b) の二通りが考えられる。



図 7. 操作例: 両腕を使って Marble を囲い込み、自陣に運び込む。

るように動く。後者の方が、手の上下方向の動きと曲面の高さとが一致するため、より直感的であると言えるが、ゲームとしては前者の方が圧倒的に面白味を増すため、我々は前者を採用した。詳しくは次節で述べる。

3.4 テクニック

Marble の操作方法はこれまでにない新しいものであり、効率的な Marble の操作手法はプレイヤーが自力で見付け出す必要がある。

基本的には、手を使ってかき集めるような操作をする事である。ゆっくり手を動かしていくと、Marble は斜面を転がりつづけていく。手の角度を変える事で、斜面の向きを調整し、Marble の進行方向を調整できるようになる。両手を使えば片手よりも大量に Marble を動かせる。

さらに、腕が使える事がわかると、もっと大胆

な操作ができる。図 7 は、両腕を使って Marble を Marble Machine ごと囲い込んだ例である。こうする事で、Marble は両腕の外に転がり出す事なく、自陣に運び事ができる。他のプレイヤーにこの操作をされた場合は、Crusher を送り込んで Marble を破壊するか、実力行使で腕をどかす等を試みる事となる。

現在の実装はテーブルがそれほど大きくない(一辺 1m 弱)ため、3 人以上で遊ぶとテーブル上で互いの手がぶつかりあう。ゲームの操作という観点では好ましくないが、Marble を獲得するために手と手がぶつかりあい邪魔しあう様はまるでスポーツのようでもあり、従来のビデオゲームからはかけ離れた操作感を提供している。

以上の操作は、Marble が手から逃げるような計算をした場合である。前節で述べたように、Marble が手に吸い込まれるような計算も可能ではあるが、この場合は Marble の操作に困難性はほとんどなく、手にある程度 Marble を吸いつけてから自陣に運び、という作業の繰り返しになってしまい、面白味があまりなかった。Marble をうまく操作できずにテーブルの上でプレイヤーがのたうちまわり、叫びあうという場面は、前者の実装でしか見られない。

3.5 考察

上体を駆使して遊ぶビデオゲームはこれまでも少なくない数発表されている。例としては「Beatmania シリーズ」(KONAMI) や「サンバ de アミーゴ」(SEGA) が該当するし、古くはいわゆる「もぐら叩き」がある(ビデオゲームではないが)。しかしいずれも、基本的には手先がその入力を中心であり、他の部位を活用した例はない。Marble Market では、腕を使って Marble を操作する感覚が新しい。

また、いずれもそのゲームに特化した特別なコンソールを用いるものであり、汎用性は低い。Marble Market は、テーブルサイズの SmartSkin とプロジェクターという構成で、全体として汎用性は失なっておらず、他のコンテンツにも応用可能である。

一方で、SmartSkin の特徴である、高さ方向の位置検出は、本ゲームではうまく活用していない。ゲーム内容が、力で押せばよいものになっているため、微調整の余地がない為である。また、SmartSkin は圧力は検出しないが、多くのプレイヤーが、Crusher を避けようとして、力を込めてテーブルを押していた。圧力検出の機構を加えれば、こうした操作をゲームに取り込む事ができるだろう。

高さ方向の操作を活用したアプリケーションは次章で紹介する。

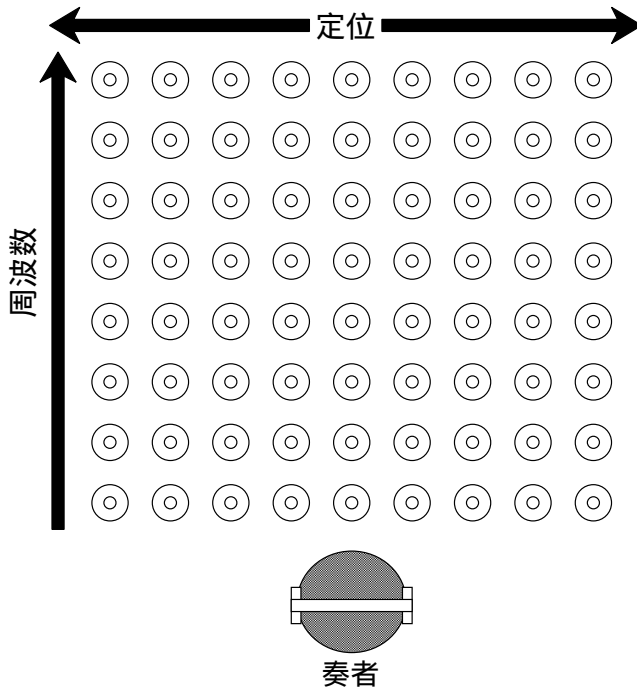


図 8. 左右方向が音源の定位に、前後方向が周波数にそれぞれ対応して配置される。

4 音楽演奏アプリケーション

4.1 概要

SmartSkin の入力を使って音楽を演奏するためのアプリケーションを実験的に製作した。本アプリケーションでは、テーブルサイズの SmartSkin を用いる。テーブルサイズの SmartSkin では、 8×9 の計 72 個の入力値が得られる。これらの値を、72 個のボリュームコントローラの値であるとみなし、72 個の発振器を制御するのに用いた。

テーブル上には、仮想的な音源が 72 個配置されている。それぞれは単調な正弦波を出力するようになっており、手前から奥に向かっては、だんだん周波数が高く設定されている。左右方向は、周波数はそのまま、音源の定位がその場所に対応するように設定されている。今、プレイヤーが手を音源の一つに手を近づけると、音源は音を発生する。その音量は、SmartSkin が検出した静電容量に反比例する。そのため、手をテーブルに近づけると音量は大きくなる。また、手を開いたり閉じたりしても静電容量は変化するが、これは高さの変化程大きな影響はもたらさない。高さの上限はテーブル表面から 10cm 程度で、有効解像度は 200 段階程度である。

手を左から右に動かすと、音の定位が左から右に動くように感じられ、手を奥に動かすと周波数が高くなる。両手を使うと、二つの音を同時に出す事ができ、腕を使ったり複数の人間で操作すると、より多くの音を同時に発生させる事ができる。ただし、

音源の定位はテーブル正面を基準位置としているので、他のプレイヤーに対しては正しい定位を再現できていない。

4.2 考察

本アプリケーションは実験的に製作したものであり、実際の音楽演奏に用いる事ができるようなものではない。現時点までに数人の被験者に使ってもらった際のコメントを元に考察する。

本アプリケーションは、センサー面と人体との距離の微妙な変化を反映して音量を調節するので、腕の高さを微妙に調節する事で、微妙な表現を可能としている。こうした空中での手の動きを楽曲演奏に応用するものとしては、テルミン (Theremin) や、The Digital Baton[3]、IRCAM の研究等、数多く見られる。SmartSkin ならではの演奏手法とは言えないだろう。

楽器演奏に際しては、微細な操作に対して精度の高い反応が要求される場合がある。SmartSkin の現在の実装では、微弱な電流の変化を測定しているため、様々なノイズに影響される。そのため、微細な精度は期待できない。

72 個のボリュームスライダー信号を出力する、汎用の MIDI 機器として実装してはどうか、というコメントがあった。アーティストに対して、彼等に使いやすい形で新しい汎用入力装置として提供できれば、面白い展開が期待できる。これは今後の課題とする。

5 まとめ

人体形状の認識デバイスである SmartSkin を応用して、ビデオゲームや音楽演奏のアプリケーションを試作した。結果、体の様々な部位を使って入力するという新しい体験を提供する事ができた。

今後はアプリケーションの対象領域を拡げ、リアルタイムの映像・音楽生成のためのインターフェースとしての応用を試みる。また、家庭用ゲーム機に接続し、ビデオゲームのための新しいインターフェースとして、各種ゲームジャンルへの応用を試みる事を考えている。

参考文献

- [1] Jun Rekimoto. SmartSkin: An Infrastructure for Free-hand Manipulation on Interactive Surfaces. In *Proceedings of CHI2002*, 2002.
- [2] Kentaro Fukuchi, Jun Rekimoto. Interaction Techniques for SmartSkin. ACM UIST2002 demonstration, 2002.
- [3] Teresa Marrin and Joseph Paradiso. The Digital Baton: a Versatile Performance Instrument. In *Proceedings of the International Computer Music Conference*, pp. 313-316. Thessaloniki Greece, September 1997.