

Stick'n Roll: 曲面ディスプレイ上で棒状インタフェースを 操作するコンピュータシステムとその応用

松浦 昭洋^{†1} 大島悠^{†1} 栗原秀典^{†2} 折小野 嘉輝^{†3}

本稿では、いくつかの凸曲面からなるディスプレイ上で棒状インタフェースを回転させ、棒とディスプレイの接触情報を用いてマルチタッチ入力を行うコンピュータシステム Stick'n Roll を提案する。本システムでは、曲面上に座圧分布センサを貼付して棒とディスプレイの接触情報をリアルタイムで取得し、コンピュータ上でデータ処理、アプリケーション処理を行った後、曲面上方から曲面に映像をプロジェクションする。本システムの有効性、一定の汎用性を示すために制作した風船割ゲーム、鍵盤楽器等のアプリケーションも紹介する。

Stick'n Roll: A Computer System Using Stick-Like Interfaces on Curved Display and Its Applications

AKIHIRO MATSUURA^{†1} HARUKA OHSHIMA^{†1}
HIDENORI KURIHARA^{†2} HIROKI ORIONO^{†3}

In this paper, we present a computer system called Stick'n Roll in which we roll several sticks (or batons) on convex curved surfaces to make the touching information of sticks to the surfaces as input and output the resulting images onto the surfaces. We develop some applications including the balloon breaking game and the virtual keyboard and confirmed that the system is not only unique on the way of manipulation but also generic in some degrees.

1. はじめに

近年、大型テレビ、スマートフォン、デジタルサイネージ等の用途で曲面ディスプレイの開発と実用化が進んでいる。しかし、そのメリットとして主張されるのは主に画質に関してであり、入力に関しては従来通りリモコンを用いたり指を用いてマルチタッチで行う方法に留まっている。近年 Kinect, Leap Motion, RealSense 等動作認識に基づくナチュラルユーザインタフェース (NUI) の研究開発やアプリケーションに特化した入力インタフェースの研究開発も多数行われているが、曲面の特徴を活かした有力な入力方法は筆者らの知る限り知られていない。

我々が曲面上の新たな入力方法やインタフェース開発のきっかけとなった成果として、上に凸な曲面上で両端の重い棒状の物体が滑らかに回転するという事実に基づいて、凸曲面上で複数の棒状物体を回転操作し時空間表現を行うパフォーマンス装置の開発がある[1]。本研究では、本パフォーマンス装置をコンピュータデバイスに拡張し、一つまたは複数の凸曲面をディスプレイとして、そのディスプレイ上で複数の棒状インタフェースを操作し、棒と曲面との接触情報を入力に利用するコンピュータシステムを提案する。今回の実現方法においては、接触情報のリアルタイム

取得のために曲面上に電磁誘導方式の座圧分布センサを張付し、棒にアルミニウムテープを巻いて用いた。接触情報は曲面上の各格子点の電磁誘導係数の値としてコンピュータに送信され、コンピュータ上でデータ処理、アプリケーション毎の処理、および曲面上で適正に表示されるように画像変換が行われ、曲面上部のプロジェクタから曲面に照射される。本システムにおいては、曲面装置を一人で操作できるだけでなく、曲面の周りに複数の人が位置し、それぞれが棒状インタフェースを回転操作することも可能なため、何らかの協調作業や対戦等を含む応用にも利点がある。本システムの応用例として、これまでに、風船割ゲーム、仮想鍵盤楽器、ドローツール等の作成を行い、新たな操作感を持つアプリケーションの構築が可能であることを確認した。

2. 曲面と棒を用いた“視覚楽器”

“楽器”とは一般に演奏者が直接操作することで音楽的な表現を行い、聴覚を刺激する装置・道具を指すが、これに対して我々は、人が直接操作することで豊かな視覚表現、時空間表現を行うことができる装置を“視覚楽器 (Visual Instruments)”と呼ぶこととする。本定義から、体操や新体操の装置・道具、大道芸や演芸で用いる多くの道具も視覚楽器に含む。文献[1-3]においては、新たな視覚楽器の提案やその生み出す動きの解析・可視化が行われた。その中で文献[1]で報告された複数の曲面を用いる視覚楽器に今回焦点を当てる。本装置は、図1のような曲線上の線分の回

^{†1} 東京電機大学
Tokyo Denki University
^{†2} 日本電気株式会社
NEC Corporation
^{†3} 株式会社マイクロアド
MicroAd, Inc.

転運動を基本としており、これを三次元化した曲面装置と棒状物体により実現する。実際に曲面長 90cm 程度の二つの曲面で実現した装置とその上で複数の棒を対面する二人で回転操作する様子を図 2 に示す。

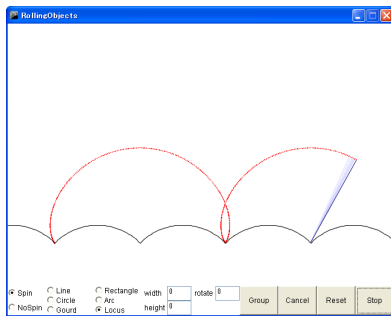


図 1 曲線上の線分の回転運動

Figure 1 Rolling of a line segment on curves.

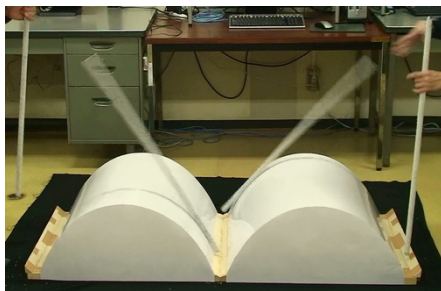


図 2 曲面上の棒の回転運動

Figure 2 Rolling of sticks on curved surfaces.

本装置は、以下のように、コンピュータの入出力装置として望ましいいくつかの利点を有している。

- 曲面そのものをディスプレイとして利用可能
- 曲面上の棒の回転において、接触点は（理論上）一点であり、その点を入力と解釈可能。さらに棒を寝かせると複数の点の入力も可能
- 複数の棒と曲面が利用できるなどの拡張性
- 棒の回転操作そのもののエンタテインメント性

そこで、本研究では、本装置を一定の汎用性のあるコンピュータシステムに発展させることとした。次章でシステムの概要を述べる。

3. Stick'n Roll のシステム詳細

3.1 システム概要

本システムの概略図を図 3 に示す。本システムの主な構成要素は、曲面装置、棒状インタフェース、曲面上に貼付する座圧分布センサ、センサ情報を受け取りアプリケーションの処理を行うための PC、曲面上に映像を照射するためのプロジェクタであり、次の流れで処理が行われる：ユーザが棒を曲面上で回転操作すると、曲面と棒の接触情報を

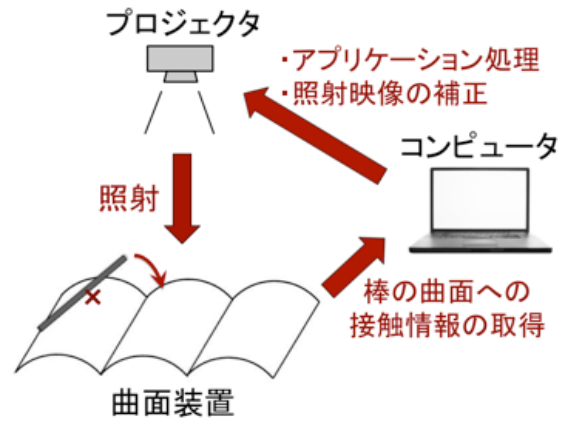


図 3 システムの概略図

Figure 3 Overview of the system.

曲面上に貼付された座圧分布センサが読み取り、曲面上の全格子点におけるセンサの値（電磁誘導係数）をコンピュータに送る。コンピュータ上では、接触データの加工、アプリケーション毎の処理、曲面における歪みのない映像表示のための画像補正を行い、補正後の映像を曲面上方に設置したプロジェクタから曲面上に照射する。

次節以降、各構成要素と処理の詳細を述べる。

3.2 曲面装置

曲面はポリ塩化ビニル (PVC) の板を曲げて作られており、一曲面毎、およそ 60×45[cm] の木枠のフレーム上に凸状のアーチを描くように固定されている (図 4)。複数個の曲面は直線状、グリッド状等に並べて用いられる。さらに、曲面上には座圧センサ、ディスプレイ用の白いスクリーンが設置されている。曲面上で操作する棒は、曲面上を連続的に回転してくために、曲面長と同程度の長さ (図 4 ではおよそ 60cm) を持ち、回転しやすくするために両端に錘が巻かれている。

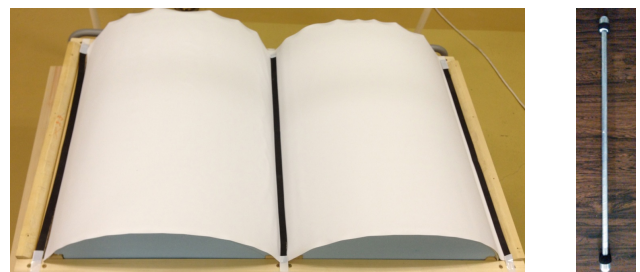


図 4 曲面装置と棒状装置

Figure 4 The curved surfaces and the stick-like instrument.

3.3 座圧分布センサ

棒と曲面の接触情報を曲面上の映像に反映させるため、棒と曲面の接点の位置情報を検出し、コンピュータにリアルタイムで送信する必要がある。そのために今回は、サンプリングレート、サイズ、位置の検出精度（分解能）等の

点で本研究の要求をみたすシロク社の座圧分布センサである LL センサー (LL600*600) を用いた。LL センサーは電磁誘導方式のセンサであり、コイルの直交するセル部、および金属片を緩衝材で介した構造となっている。外部から金属片がセル部に近づくと電磁結合が強まり、結合係数が変化する。センサシート一枚のサイズは 600×600[mm] であり、セルの間隔は 10mm である。サンプリングレートは 100Hz である。今回の棒の速度は 60cm/0.3~0.5sec、つまり秒速 1.2~2.0m 程度であり、1~2cm 程度棒が移動する毎に位置情報が取得できるため、本用途に十分なセンシング能力がある。棒との接触による電磁結合係数の変化を得るため、棒の周囲にアルミニウムテープを巻いた (図 4)。本来の LL センサーは、座圧の程度を測るために上面がスポンジで覆われており、平面状に用いる想定から堅い板状の部材が挿入されている。今回は曲面状にする必要があるため、それらの部材を除きラミネート加工して、図 5 のように曲面に貼付して使用した。

座圧センサによる電磁結合係数の値はグリッドの各格子点において $0 \sim 2^{16}$ の整数値で得られ、これらの値が毎フレーム毎に全て配列データとしてコンピュータに送信されるため、本センサは曲面上のマルチタッチデバイスとして機能し、一人、或いは複数人による複数個の棒の同時操作や棒の側面部分を用いたマルチタッチ入力等が可能となる。

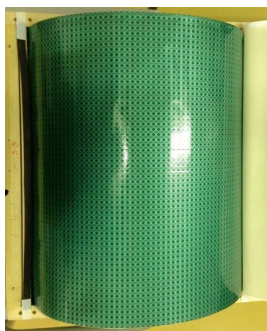


図 5 座圧センサの曲面への貼付

Figure 5 Attachment of pressure sensor to the curved surface.

3.4 コンピュータによる処理

コンピュータでは主にセンサデータの取得と加工、曲面向けの映像の補正処理、アプリケーション毎の処理を行う。

(1) センサデータの取得と加工

センサから得られる電磁結合係数の値は $0 \sim 200$ 程度の値のノイズが常に検出されるため、閾値 2000 を超えるときのみ棒と曲面が接触したと判断することとした。

(2) 映像の補正

本システムでは曲面に映像を映すため、矩形のフレームの映像をそのまま照射すると、曲面の傾きの大きな部分の映像が伸びて歪んでしまう。これを改善するためには、表

面の曲率によって伸びてしまう映像に補正を施し、曲面の傾きが大きい部分は大きく縮ませ、傾きが小さい部分はあまり縮ませないという処理をしておく必要がある。そのような補正を行うため、曲面の 3D モデルの作成を行った (図 6)。本モデルに映像を貼り付けることで、曲面と同じ曲率で縮ませた映像を投影することができる。本手法は処理速度が速いだけでなく、プロジェクタと曲面装置との距離や角度が多少ずれてもパソコン上でカメラの位置を変えることで対応できる利点もある。実装の結果、リアルタイムで映像補正が行えることを確認した。



図 6 3D 曲面モデルの輪郭

Figure 6 Contour of the 3D surface model.

(3) アプリケーションの処理

曲面装置の操作方法、および棒の接触情報のリアルタイム取得の技術を効果的に利用したアプリケーションとして、これまでに風船割ゲーム、仮想鍵盤楽器、ドローツール等を作成した。以下では、風船割りゲームを例に、アプリケーションにおける画像の更新方法について述べる。

風船割りゲームは、画面内に浮遊する風船を棒の曲面上での回転操作によって割っていくミニゲームである (図 7)。その画像の更新処理においては、センサから得られた棒と曲面の接点に風船があった場合、画像を風船の割れたものに変えた新たなスコアデータの画像を用意し、それらを背景画像に上書きして、3D モデルに貼付ける新たな画像を生成する。本データに対して (2) に述べた補正を行って曲面上に照射し、リアルタイムによるプレイを可能としている。



図 7 風船割ゲームのプレイ画面

Figure 7 Play image of the balloon game.

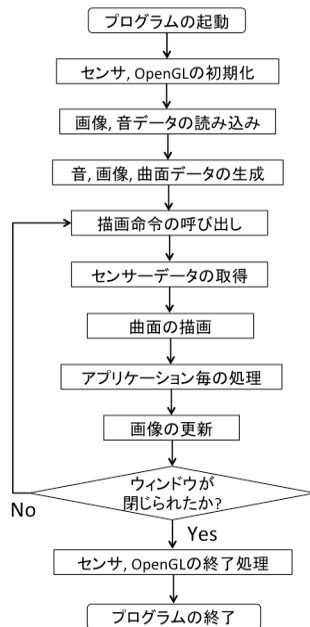


図 8 コンピュータによる処理の流れ

Figure 8 Flow chart of the computer.

コンピュータによる処理の流れを図 8 にまとめる。

4. 製作した装置と操作例

まず装置の全体像を図 9 に示す。曲面装置全体はプロジェクタを設置するための $1.2 \times 1.2 \times 2.0$ [m]のパイプのフレームで囲まれている。曲面装置はおよそ 40cm 程度の高さのテーブルの上に設置され、光の反射を抑えるため、ディスプレイ以外は黒色で統一している。

本装置上で風船割ゲームを二人でプレイしている画像を図 10 に示す。本ゲームは曲面のもう一方の両端に立ってもプレイすることが可能である。本年の CEDEC2014 においても本ゲームのデモを行って 300 人を超える方々にプレイして頂き、棒の操作感のユニークさや棒が滑らか気持ちよく回転していく動き、風船が棒の回転によって割れる爽快感等から大変好評であった。

続いて、仮想鍵盤楽器をプレイ中の様子を図 11 に示す。左側の曲面にはドからシまでの白鍵 7 音が、右側の曲面には一オクターブ高いドと黒鍵 5 音分の鍵盤が表示されている。このように配置がイレギュラーな理由は曲面の縦長のため 8 音以上置くと棒の回転で鍵盤を叩くことが困難だったためである。現状ではこれら以外の鍵盤は実装できていないが、棒の回転で鍵盤を鳴らすという演奏方法が可能であることを確認した。



図 9 装置の全体像

Figure 9 The overall instrument.

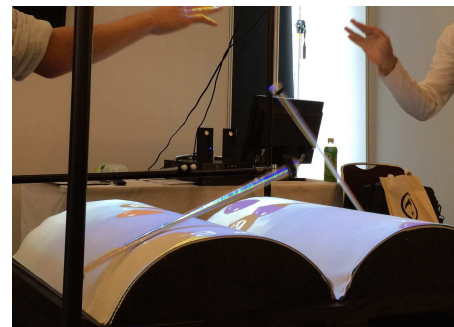


図 10 風船割ゲームの二人プレイ

Figure 10 Balloon game played by two persons.

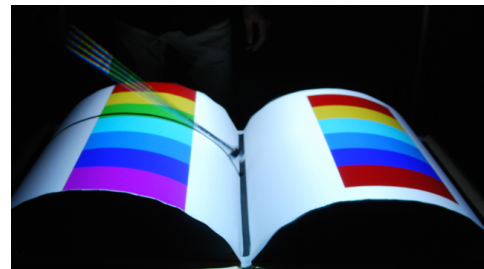


図 11 曲面上の仮想鍵盤楽器の演奏

Figure 11 Playing virtual keyboard on the surface.

最後に、曲面上で用いる塗り絵ツールのプレイ画面を図 12 に示す。本ツールでは通常のドローツールと同様に、棒状インターフェースによって色をパレットから選んで絵を描いていく。図のように棒をペンに見立てて絵を描いたり、棒の側面を利用して一度に多くの場所に色を塗ったり、棒の回転で描いたりすることが可能である。しかし、棒の回転が効果的に活かされるとは言い難いのが現状である。



図 12 曲面上のお絵描きツール

Figure 12 Virtual keyboard on the surface.

5. まとめ

複数の凸な曲面を表示画面と見立てた曲面ディスプレイ上で棒状インタフェースを回転させて入力を行うコンピュータシステム Stick'n Roll といくつかのアプリケーションの開発を行った。実際の装置上でいくつかアプリケーションを実装し、曲面上での棒の回転操作による入力がある程度の汎用性をもったシステムとなりうることを確認した。今後の課題としては、現状では入力は曲面において直接座圧センサを用いて行い、画面の出力結果は情報からのプロジェクションによって行っているが、両者とも曲面部分で直接行う方が簡便で人の動作によるオクルージョンもなく利便性が高いため、そのような簡便で効果的なシステムに改良することが今後の重要な課題である。また、現状のアプリケーションはミニゲーム、ミニアプリに留まっているため、それらをより高度なアプリケーションに高めたり、さらに本システムの使用が効果的なアプリケーションを開発したりしていくことも今後の課題として挙げられる。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 25330437 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) Matsuura, A., Hashimoto, J., and Okuno, K.: Geometric Visual Instruments Based on Object Rolling, Proc. of Bridges 2013: Mathematics, Music, Art, Architecture, Culture, pp. 303-310 (2013).
- 2) Matsuura, A.: Spherical Juggling, Proc. of 5th Interdisciplinary Conference of the International Society for the Arts, Mathematics, and Architecture (ISAMA2004), pp. 89-94 (2004).
- 3) 松浦昭洋, 奥野健斗, 山崎裕介: 図形の転がり可視化ソフトウェアの開発, 形の科学会誌 (シンポジウム要旨), Vol. 29, No. 1, pp. 52-53 (2014).
- 4) LL センサー, 株式会社シロク, http://www.xiroku.com/p2_2.html

研究会原稿 (EC34) 正誤表 (訂正内容 2 カ所)

発表タイトル : Stick'n Roll: 曲面ディスプレイ上の棒状インタフェースを操作するコンピュータシステムとその応用

著者 : 松浦昭洋, 大島悠, 栗原秀典, 折小野嘉輝

・訂正箇所 1: Page 3, 左段 2 行目

(訂正前) 「～を用いた。」

(訂正後) 「～を用いた[4].」

・訂正箇所 2: Page 5, 図 12 のタイトル (日本語、英語共)

(訂正前) 図 12 曲面上のお絵描きツール

Figure 12 Virtual keyboard on the surface.

(訂正後) 図 12 曲面上のドローツール

Figure 12 Draw tool on the surface.

以上