

背面投影型デジタル地球儀 Dagik Earth のための 半球面マルチタッチパネルの開発

小山 幸伸^{※1}, 廣田 尚樹^{※1}, 増田 花乃^{※2}, Pipatpol TANAVONGCHINDA^{※3}, 佐藤 弘^{※4}

Development of the hemispherical multi-touch panel for the rear-projection digital globe “Dagik Earth”

Yukinobu KOYAMA^{※1}, Naoki HIROTA^{※1}, Hanano MASUDA^{※2}
Pipatpol TANAVONGCHINDA^{※3}, Hiro SATO^{※4}

Abstract

The digital globe “Dagik Earth” is an effective tool for general citizens to study global environments. Although various user-interfaces have been tested for Dagik Earth, such a user-interface that can control the contents by directly touching the digital globe itself has not been realized. Therefore, we started development of a hemispherical multi-touch panel for the rear-projection digital globe by adopting the FTIR technology. We built a hemispherical multi-touch panel system using infrared LED, infrared Web camera, CCV, and TUIO.

While the sensitivity is insufficient for bright environment, we were successful to realize the hemispherical multi-touch panel under the limited condition that all the external lights are blocked except for the projector and the infrared LED.

Keywords : Dagik Earth, Hemispherical Multi-touch Panel, Infrared LED, Infrared Camera

概要

地球環境を市民が学習するための道具として、デジタル地球儀 Dagik Earth が有効と考える。これまで様々なユーザインターフェースが Dagik Earth に試行されてきた。しかしながら、デジタル地球儀そのものに触れてコンテンツを操作するユーザインターフェースは実現していなかった。そこで我々は、FTIR 方式を用いた背面投影型デジタル地球儀 Dagik Earth のための半球面マルチタッチパネルの開発に着手した。赤外線 LED、赤外線 Web カメラ、CCV、TUIO を用いて半球面マルチタッチパネル・システムを構築した。未だ感度は十分ではないものの、プロジェクタおよび赤外 LED を除く外部の光を遮った環境下において、半球面マルチタッチパネルを実現した。

キーワード ダジックアース, 半球面マルチタッチパネル, 赤外 LED, 赤外線カメラ

doi: 10.20637/JAXA-RR-18-008/0003

* 平成 30 年 12 月 19 日受付 (Received December 19, 2018)

^{※1} 大分工業高等専門学校情報工学科 (Department of Information Engineering, National Institute of Technology, Oita College)

^{※2} 福井大学工学部情報・メディア工学科 (Department of Information Science, Faculty of Engineering, Fukui University)

^{※3} カセサート大学計算機工学部 (Department of Computer Engineering, Kasetsart University)

^{※4} 熊本大学工学部情報電気電子工学科 (Department of Computer Science and Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kumamoto University)

1. 背景および目的

西日本に甚大な被害をもたらした平成30年7月豪雨に代表される度重なる災害によって、専門家のみならず子供から大人に至る一般市民の地球環境に関する注目度は高まっている。市民がそれを身近に学習するための道具として、デジタル地球儀が有効と考える。JVC ケンウッドの触れる地球¹⁾や Global Imagination の The Magic Planet²⁾など、多人数が一度に観覧できるデジタル地球儀が市販されているが、小規模な組織で導入するにはいずれも高価である。他方で、科学館や小中学校において導入可能な低予算で実現可能なデジタル地球儀として Dagik Earth³⁾⁴⁾が挙げられる。これまでキーボード、マウス、トラックボール、Wii リモコン、バランス Wii ボード、Kinect、Leap Motion、赤外線リモコン、QR コードリーダーなどに代表される様々なコントローラーが、Dagik Earth に試行されてきた。しかしながら、デジタル地球儀そのものに触れてコンテンツを操作するユーザインターフェースは実現していなかった。そこで我々は、背面投影型デジタル地球儀 Dagik Earth のための半球面マルチタッチパネルの開発に着手した。

2. タッチパネルの仕組みと原理

2.1 光波におけるスネルの法則

図 1 に半球面マルチタッチパネルの概念図を示す。赤外 LED によってアクリル半球の断面から入射した赤外線は、アクリルと空気と境界面における全反射を繰り返して反対側の断面に到達する。この途中経路に触れることによって、赤外線は指に反射する。これを赤外線カメラによって検出し、PC のポインティングデバイス制御と結び付けることによってタッチパネルを実現する。このようなタッチパネル方式は Frustrated Total Internal Reflection (FTIR)方式と呼ばれる。次に前出した赤外線の全反射について考える。接合した2つの媒質 A および B の屈折率を n_A および n_B とし、その入射角および屈折角を θ_A および θ_B とすると、スネルの法則 $n_A \sin \theta_A = n_B \sin \theta_B$ が成り立つ。図 2 より得られるアクリルの屈折率を $n_A \approx 1.49$ 、そして空気の屈折率を $n_B = 1.00$ として代入すると、 $\sin \theta_A = (n_B/n_A) \sin \theta_B = (1.00/1.49) \sin(\pi/2)$ となり、臨界角 $\theta_A \approx 38.5^\circ$ を超えた場合に全反射が起こる。

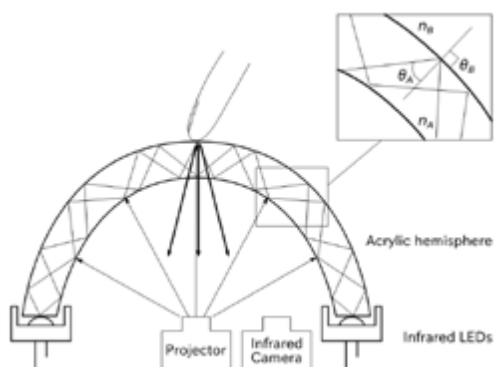


図 1 半球面マルチタッチパネルの概念図。

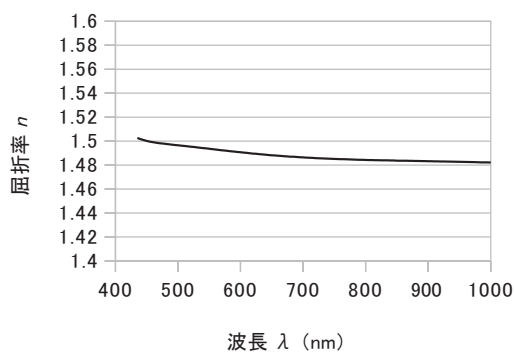


図 2 光の波長に対するアクリルの屈折率⁶⁾。

2.2 赤外 LED とブラケット

赤外線のパーク波長が940nm, 照射角が30°, 順方向電流100mA 時の放射強度が40mW/sr である OptoSupply 社の直径3mm の高輝度赤外 LED の OSI5LA3131A⁶⁾を使用した.図 3にこの赤外 LED 駆動回路を示す.試験段階の現在は, 順方向電流を100mA ちょうどにするために, 安定化電源を用いて11.6V を供給している. 直径40cm 厚さ3mm のアクリル半球の断面を240番から2000番の耐水やすりで磨いた後に, アクリル研磨剤⁷⁾を用いて滑らかにした.このアクリル半球の断面に対して赤外 LED 光の中心軸を垂直に保持するために, ダブルクリップによって作成した LED ブラケットによってアクリル板を挟み込んで固定した. このLED ブラケットは, PLUS 社の幅19mm のエアかるダブルクリップ CP-103AK を3mm の穴あけ加工することによって作成した. LED ブラケットに搭載した赤外 LED をアクリル半球の断面に8個取り付け, その設置個所以外は反射させるために白色塗料を塗った.

これまで様々な背面投影型 Dagik Earth の実装が公開されてきたが, それらの多くは, アクリル半球を支持するためのフランジ付きのアクリル半球が利用されてきた.しかしながら, 本取り組みではアクリル板断面から赤外線を入射させるために, 荷重を支えるためのフランジを付けることができない. そこで図 4のアクリル半球の支持具を作成し, 図 5のようにアクリル半球を4点支持した.

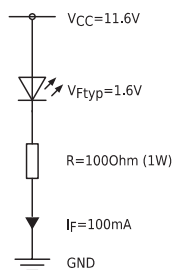


図3 赤外LED 駆動回路.



図4 ダブルクリップを用いた着脱式のアクリル半球の支持具.



図5 フランジ無しアクリル半球の4点支持, およびフレキシブルアームを用いた赤外線 Web カメラの支持を示す.

2.3 赤外線 Web カメラ

Dagik Earth と同様に, マルチタッチパネル機能も安価に実現することが望ましい.そこで本研究では, 高価な既製品の赤外線カメラを使わず, 手頃な価格の Web カメラを, 赤外線 Web カメラに改造した. 使用した Web カメラは, バッファローの BSWHD06M である.多くの Web カメラと同様に, 図 6の左図のような赤外域をカットするフィルターが組込まれていたもので, ピンセットを用いてこれを除去した. さらには, 図 7の様に Web カメラの CMOS センサ前に, 光吸収・赤外線透過フィルター (Infra Red (IR) フィルター) FUJIFILM IR84を組込んだ. 短波長の可視光が IR フィルターによって吸収される時の分光感度の概念図が図 6の右図である. 以上に加えて, アクリル半球のエッジにおいて反射した赤外線をカメラが検出ないように, 3φ のアルミワッシャーを CMOS センサ前に組込むことによってマスクした. このマスクの有無による検出画像の差異を図 8に示す.

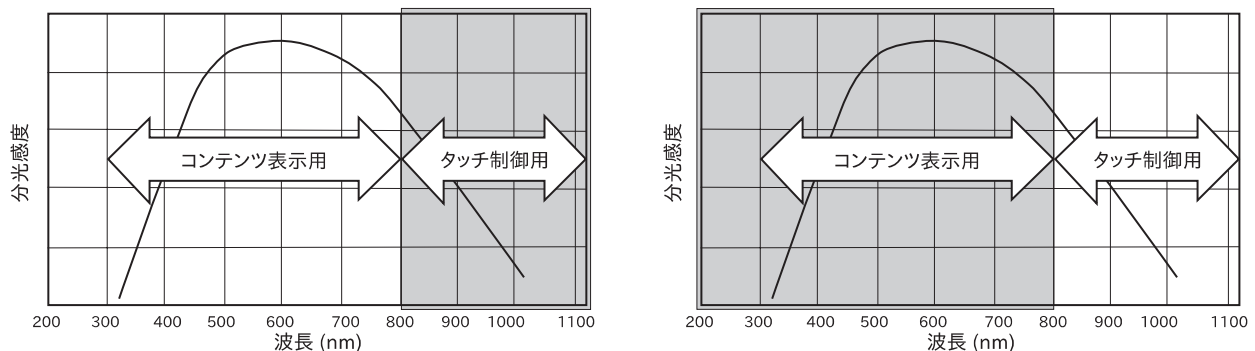


図6 Web カメラの分光感度曲線の概念図を示す. 多くの Web カメラは, 左図のように赤外域をカットするフィルターが組み込まれている. このフィルターを除去した後に, 可視光除去フィルターを組込んで右図のような分光感度特性にする.



図7 適切なサイズに切断した IR フィルターを, CMOS センサ前に組み込む様子を示す. マスク用の 3φ のワッシャーも同様に組み込む.

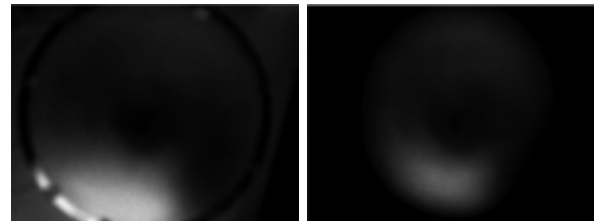


図8 左図は, アクリル半球のエッジで反射した赤外線が見える. 右図は, マスクを用いた際の赤外線 Web カメラの画像である.

2.4 タッチ箇所の検出とポインティングデバイス制御の紐づけ

指が触れた箇所, すなわち赤外線の反射箇所を検出するために, フリーのライブラリである Community Core Vision(CCV)⁸⁾ Version 1.5の付属アプリケーションを利用した. 図9に CCV によるマルチタッチ検出の様子を示す. 左上の画像が赤外線 Web カメラによる入力画像である. ただし, 入力画像に加えて, タッチ箇所の重心も描画されている. 下の4つの画像は, 背景除去, ノイズ除去, ハイパスフィルタ, 弱いピクセルの増幅という各々のフィルターを入力画像に適用した画像である. 右上の画像は全フィルターを適用後の画像であり, 指が半球に触れることによって作られる白い小塊の1つ1つにユニークな識別子が付与された. さらには, 小塊の現在座標が3333番ポートから出力されることを確認した. 仮に小塊が移動しても, ひとたび付与された識別子はそのままであり, 時々刻々と小塊の座標が出力される. しかしながら, 小塊がひとたび無くなった後に再び現れたとき, すなわち指をひとたび離してまた同じ指で触れた場合においては, 新たな識別子が付与される.

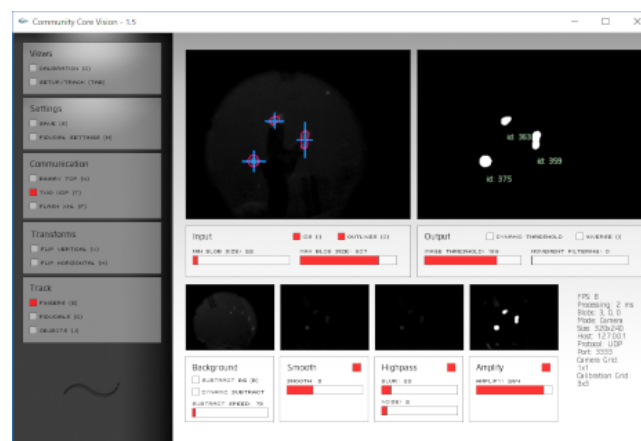


図9 CCV によるマルチタッチ検出の様子を示す.



図10 遮光テスト環境.



図11 半球面マルチタッチパネルを操作している様子を示す. 左図が回転前で, 右図が回転後である.

次に3333番ポートから出力される各々の小塊の現在座標をマルチタッチイベントに紐づけるために、Tangible User Interface Object (TUIO)⁹⁾を用いた。TUIOにはサンプルアプリケーションが用意されていたものの、我々が必要とするキーボード処理の機能不足があったため、Tuio.jar ライブラリを利用しつつ追加実装したDagikTouchController.jarを開発した¹⁰⁾。小塊の座標を mouseMove メソッドに与える実装を行っている。

CCV, および TUIO を用いた DagikTouchController は共に Java 言語で書かれているため、Java Virtual Machine が動作する環境であれば動作する。さらに赤外線 Web カメラは、USB インターフェースを持つ PC に接続される。そこで我々は、Windows 10, Mac OS X, Raspbian 環境下において本システムの動作を確認した。

3. 実験および考察

図 10 に遮光テスト環境を示す。Dagik Earth 用コンテンツを投影するためのプロジェクタの光路長を確保するため、高さは1.98m である。左図のように、19×89mm の木材をコーススレッドによって固定した骨組みに、リベットを付けた黒いブラダンでロープでもやい結びして固定した。前面は、右図のように2重にしたサテン生地によって遮光している。遮光しつつ前面から内部に片手を入れてタッチ操作できるように設計されているため、図 11 のとおり遮光テスト環境下において半球面マルチタッチパネルの操作テストを行った。左図のように天頂に触れた後に、右図の状態まで手を触れたまま動かすことに従って、コンテンツが回転することを確認した。複数の赤外 LED が強め合う箇所であかつ、カメラの視野の中心であることから、天頂付近の感度が良かった。球の端の感度を改善するには、赤外線 Web カメラを2×2の4台用いて放射状に設置し、半球の端に至るまでカメラの視野を網羅すれば良いと考える。幸いなことに CCV は複数台のカメラ入力に対応しているため、半球の端の感度向上は実現可能と考える。

アクリル半球の支持も問題なく、天頂付近はそれほど強い力で押すことなくタッチ検出が可能であった。しかしながら、コンテンツの回転動作時には横向きの動きに意識が取られ、球面に対して垂直な方向の力が弱まるため、回転動作の反応が良くなかった。この押圧を定量的に測るために、インターリンク社の圧力センサーFSR402¹¹⁾を手袋の指先に付け、Arduino Uno の10ビット AD コンバーターによって、計測する仕組みを作成した。様々な被験者によるコンテンツ回転時の押圧測定などの定量的な評価は、今後の課題である。

4. まとめ

本論文では、FTIR 方式を用いた背面投影型デジタル地球儀 Dagik Earth のための半球面マルチタッチパネルの開発状況を報告した。

赤外線 LED, 赤外線 Web カメラ, CCV, TUIO を用いて半球面マルチタッチパネル・システムを構築した。未だ感度は十分ではないものの、プロジェクタおよび赤外 LED を除く外部の光を遮った環境下において、半球面マルチタッチパネルを実現した。今後は、カメラを複数台を使うなど、タッチパネルの応答性向上を狙う。本研究は、遮光テスト環境下において検証を行ってきたため、実際に近い環境下で試験と改良を重ね、アウトリーチ現場へ提供することが次なる課題である。

謝辞

Dagik Earth 機材一式の貸し出し、および助言を頂いた、京都大学大学院理学研究科の齊藤昭則准教授、小田木洋子技術補佐員に、著者一同は感謝する。

参考文献

- 1) 触れる地球, <http://www3.jvckenwood.com/t-earth80/jp/>, 参照日: 2018年11月29日.
- 2) The Magic Planet, <http://globalimagination.com/>, 参照日: 2018年11月29日.
- 3) Dagik Earth, <https://www.dagik.net/>, 参照日: 2018年11月29日.

- 4) 齊藤 昭則, 津川 卓也, 市川 浩樹, 島田 卓也, 多様な環境においてデジタル立体地球儀を実現するための ダジック・アースの開発, 宇宙科学情報解析論文誌, 第6号, 2017, doi:10.20637/JAXA-RR-16-007/0012.
- 5) アクリル, アクリレート, ルーサイト, パースペクス, プレキシガラス屈折率, <https://www.filmetricsinc.jp/refractive-index-database/Acrylic/アクリル-アクリレート-ルーサイト-パースペクス-プレキシガラス>, 参照日 : 2018年11月29日.
- 6) OSI5LA3131A, <http://www.tme.eu/en/Document/c502fbb3d9b8c4061b369c7ceb587334/OSI5LA3131A.pdf>, 参照日 : 2018年11月29日.
- 7) 加工溶剤・用品, <http://www.acrysunday.co.jp/products/article/>, 参照日 : 2018 年11月29日.
- 8) Communiti Core Vision, <http://ccv.nuigroup.com/>, 参照日 : 2018年11月29日.
- 9) TUIO implementations, <http://www.tuio.org/?software>, 参照日 : 2018年11月29日.
- 10) DagikTouchController.java, <https://gist.github.com/koyamalmsteen/acdbd9a1cfa3cef1f2bdec259739a30f>, 参照日 : 2018年11月29日.
- 11) Force Sensing Resistors, FSR402, Interlink Electronics, <http://akizukidenshi.com/download/ds/interlinkelec/fsr.pdf>, 参照日 : 2018 年11月29日.