

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 8 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560300

研究課題名(和文) ステップ・オン・インタフェースの高機能化とさまざまな形態での実現

研究課題名(英文) Functional advance and various realization of step-on interface (S01)

研究代表者

松丸 隆文 (Matsumaru, Takafumi)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：10313933

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：ロボット・メカトロニクス機器を操作するためのステップ・オン・インタフェース(S01)の高機能化(高信頼性と高精度化)と多様化(さまざまな形態での実現)を図った。高機能化では、カメラ画像処理(OpenCVによる投影画面やスポット光点の認識)と深度データ処理(三次元深度センサの利用)によるS01を可能にした。多様化では、レーザー・ポインタのon/offジェスチャによる画面操作(クリック/ドラッグ動作)、ズーム付き雲台カメラの制御による投影画面へのリアルタイム追従、深度データに基づく指先の背景への接触/非接触動作の認識、バーチャル・キーボードとバーチャル・シロフォンへの応用を実現した。

研究成果の概要(英文)：This project aimed to make the step-on interface (S01) to operate robotic and mechatronic systems both higher functional (higher reliability and higher accuracy) and more diversified (realization in various forms). For high functionality, the camera image processing (recognition of a projection screen and a light spot using OpenCV) and the depth data processing (by use of a three-dimensional depth sensor) have been achieved. For diversification, the operation on screen by on/off gesture of laser pointer (click/drag operation), the real-time follow-up to a projection screen by a pan-tilt-zoom camera control, the recognition of the contact/non-contact operation to the background of a finger-tip based on depth data, and the application to a virtual keyboard and a virtual xylophone have been realized.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学 知能機械学・機械システム

キーワード：ヒューマン・ロボット・インタラクション(HRI) ステップ・オン・インタフェース(S01) プロジェクション(投影) レンジ・スキャナ(二次元距離センサ) 三次元深度センサ 画像処理 OpenCV + OpenNI レーザー・ポインタ

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 着想

人と機械システムのより良い関係を研究の主題としているが、人間共存型として日常の生活に役立たせるには、人が使いやすいインタフェース機能が不足していると考えに至った。

### (2) 研究動向

プロジェクタを利用した実空間投影はすでに多くの報告がなされており、ロボットの分野では、プロジェクタやカメラを天井に固定してコンピュータと人の間の共有空間へ情報を投影する機能(産総研)や、現場作業者の遠隔支援の効率向上を目的として映像投影機能と画像キャプチャ機能に着目した視野共有型遠隔コラボレーションシステム(NTT)が提案されていた。さらに環境側から人に対する情報提供サービスとして、能動的に動く雲台からの投影機能(東大)も報告されていた。また移動ロボットにプロジェクタを搭載した事例も増えていた。しかしこれらの多くが投影画面を情報提供画面として利用することを主眼とするのに対して、ステップ・オン・インタフェース(Step-on Interface, SOI)は、情報提供だけでなく指示入力の機能ももたせて人とロボットの間の双方向インタフェースとする投影画面を、特別な段取りなく任意の床面などに投影して利用する点に新規性があった。

## 2. 研究の目的

ロボット・メカトロニクス機器を操作するためのステップ・オン・インタフェース(SOI)を高機能化し、またさまざまな形態で実現することを目的とした。SOIとは、プロジェクタで投影した操作画面のボタンを操作者が足で踏み・杖で指すなどすることで、機器へ動作を指示する機能である(図1)。プロジェクタとレンジ・スキャナで構成したSOI装置を搭載した移動ロボットを公開したところ、導入するためには安価にSOI機能を実現する必要がある、床だけでなく壁にも操作画面を投影して利用したい、などの意見を得ていた。

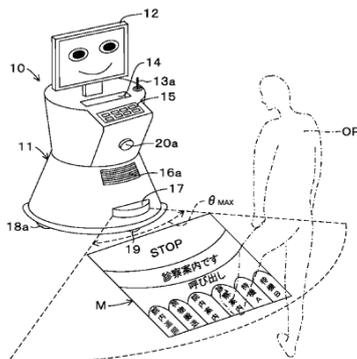


図1 ステップ・オン・インタフェース概念

## 3. 研究の方法

ふたつの側面から並行して研究を進めた。  
 (A) SOIの高機能化(高信頼性と高精度化): イメージ・センサ(カメラ)を用いた画像処理などによるSOI機能の実現を図ること。  
 (B) SOIの多様化(さまざまな形態での実現): レーザー・ポインタ指示などによる新しいSOI機能の実現を図ること。

## 4. 研究成果

### (1) 高機能化

#### ① カメラ画像処理:

まず、投影画面上のユーザの指示位置の検知をカメラ画像処理により実現するための基礎的な検討を実施した。これには、PCにプロジェクタとWebカメラが接続されるだけの単純なシステムを用いた。当初は、セキュリティ・システムや車載センサ・システムのために製品化されているCCDカメラと画像処理ボードの組み合わせを用いることを計画していたが、最近のソーシャル・ネットワーキング・サービス(SNS)の普及にともない、高性能で安価なUSB接続のWebカメラが容易に入手できるようになったためである。Windows上のソフトウェア統合開発環境であるMicrosoft Visual Studioを用いてプログラミングした。コンピュータ・ビジョン向けライブラリとして、当初はDirectShowを利用していたが、途中からOpenCV(Open Source Computer Vision Library)を用いることにした。DirectShowの利用では、ある条件下で、壁面に投影した操作画面の位置と大きさをカメラ画像の処理で認識し(図2)、レーザー・ポインタより操作画面上に照射されたスポット光点の位置もカメラ画像から計測できるプログラムを作成した(図3)。その後、OpenCVの利用でも同様な機能を実現できるようにプログラミングし直した。

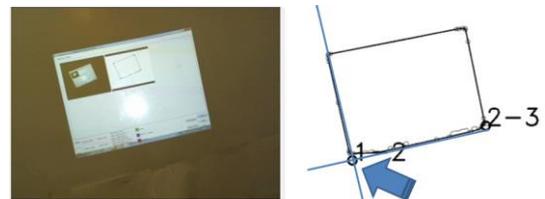


図2 座標マッピング

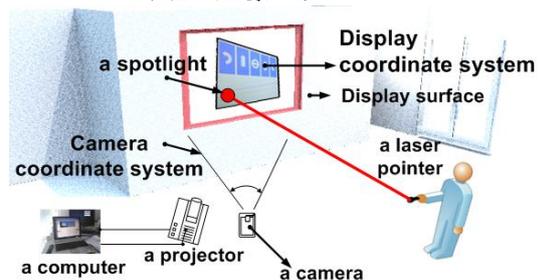


図3 レーザー・ポインタ・インタフェース

② 深度データ処理：

床面に投影した操作画面上に置かれたユーザの足、机の上に投影した画像上におかれたユーザの手、などの位置を検出する方法として、移動体における障害物検知センサとしてよく用いられているレンジ・スキャナ（二次元距離センサ）ではなく、三次元深度センサを用いる方法を検討した。すなわち、ゲームデバイスである Microsoft/Kinect や ASUS/Xtion Pro などの利用である。Kinect や Xtion に内蔵された RGB カメラ、深度センサからのデータを処理することになるが、現在利用できる SDK は「Kinect for Windows SDK」と「OpenNI」であり、まずそれらを使いこなせるようになることから始めた。

(2) 多様化

① 壁面投影された SOI の実現：

まず、プロジェクタにより壁面に投影した操作画面上に、レーザー・ポインタから照射したスポット光点の位置を Web カメラにより計測し、マウス・クリック動作を代替できる On/Off ジェスチャによる画面操作（クリック／ドラッグ動作）を実現した（図 4）。

さらに、プロジェクタの設置位置や投影方向がずれて、壁面に投影された画面の位置や大きさが動いても、Web カメラによる投影画面の計測結果に基づいて、ズーム付き雲台（パン・チルト）カメラを制御することで、投影画面をリアルタイムに追従し続ける機能を実現した（図 5）。

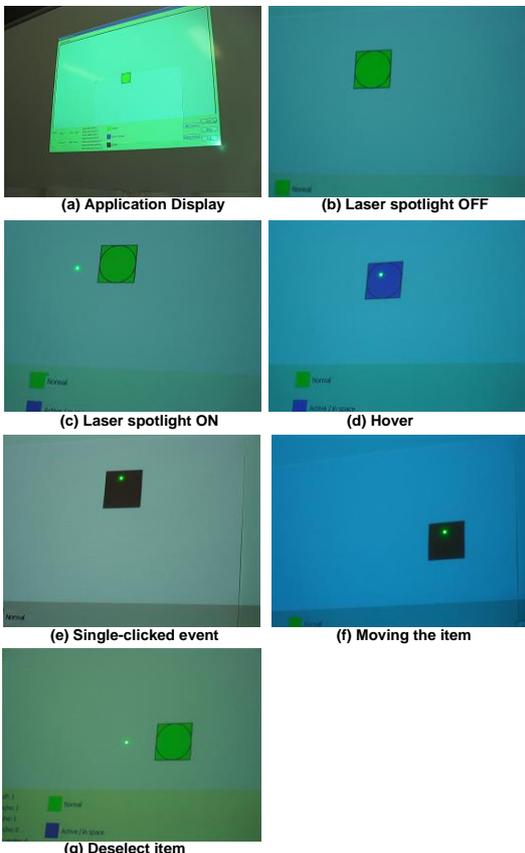


図 4 レーザー・ポインタによる画面操作

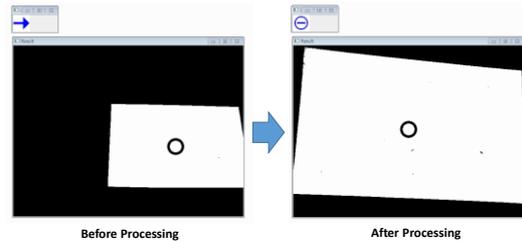


図 5 ズーム付き雲台カメラによる追従

② 三次元深度データに基づく SOI の実現：

まず、赤外線カメラ（深度センサ）による深度情報に基づいて、a) 操作者の手先の部位を特定し、b) そこから指の形状を抽出し（図 6）、c) その指先の背景への接触／非接触動作（タッチ動作）を認識する機能を実現した（図 7）。さまざまな状況（平面とは限らず物体が散乱した状況など）を背景とした実験では、1 本から 5 本の指先の認識率が平均 80% 程度となり、タッチ動作の認識率も同程度となった。

この指先タッチ動作を認識する技術を用にしたアプリケーションとして、バーチャル・キーボード（鍵盤）およびバーチャル・シロフォン（木琴）を実現した。前者では、複数の指先の背景への接触／非接触を同時に認識できるようにしたことで、和音も弾くことができる（図 8）。後者では、マレット（撥、ばち）と人の指とを形状・サイズから識別する機能（マレットのみに反応する）や、音板（投影された背景）を叩く速度の計測結果により反応が異なる機能（音量が変化する）を実現した（図 9）。

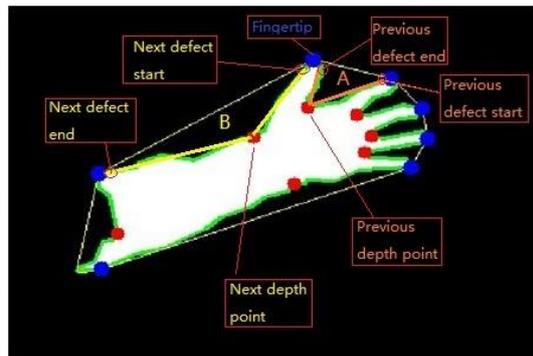


図 6 手・指の輪郭の抽出

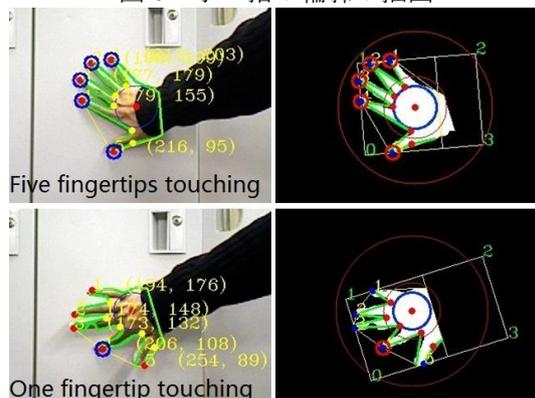


図 7 指先タッチ動作の認識

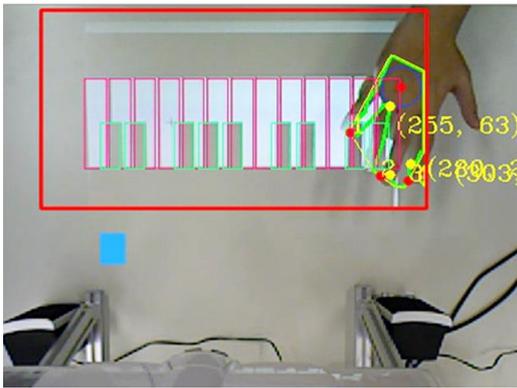


図8 バーチャル・キーボード.

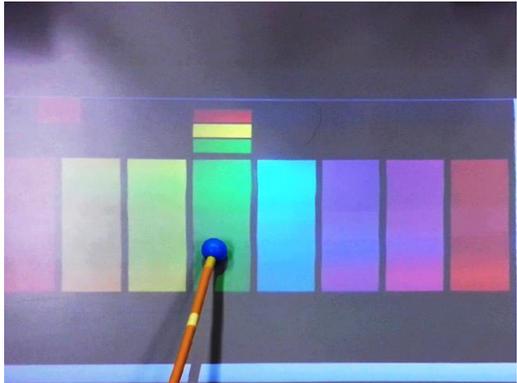


図9 バーチャル・シロフォン

### (3) 今後の課題

プロジェクタからの投影画面とレーザー・ポインタを用いたインタフェースでは、従来の操作インタフェース（コンピュータ・マウスなど）との比較・評価が必要である。また実用化には、その特徴を生かせる場面や効果的なアプリケーションの検討が課題である。

タッチ・インタラクション（インタフェース）では、最近になって市販され始めたさまざまなセンサを用いてその性能を比較してみる必要がある。また新しいアプリケーション（複数人で楽しめるゲーム、創造的・創作的・教育的コンテンツ、など）の開発が課題である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計0件）

〔学会発表〕（計22件）

- ① 武本暁生, 中津留正剛, 飯田真也, 頓所つく実, 樺島美由紀, 伊藤英明, 越智光宏, 松嶋康之, 蜂須賀研二, 松丸隆文. 画像投射式卓上型上肢訓練装置 (IDAT) を用いた片麻痺患者上肢の訓練—予備的研究—. 第39回日本脳卒中学会総会 (STROKE2014), [大阪(大阪国際展示場)], (2014.03.14).
- ② 古海陽一, 松丸隆文. パンチルトズームカメラによる投影画面とのサイズ調整と追従制御. 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会

(SICE SI2013), [兵庫(神戸国際会議場)], (2013.12.18).

- ③ R.B. Widodo and T. Matsumaru. Measuring the Performance of Laser Spot Clicking Techniques. 2013 IEEE International Conference Robotics and Biomimetics (IEEE ROBOT 2013), [Shenzhen, China], (2013.12.13).
- ④ T. Matsumaru, Y. Jiang and Y. Liu. Image-projective Desktop Arm Trainer IDAT for Therapy. The 22nd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (IEEE RO-MAN 2013), [Gyeongju, Korea], (2013.08.29).
- ⑤ R.B. Widodo, W. Chen and T. Matsumaru. Laser Spotlight Detection and Interpretation of Its Movement Behavior in Laser Pointer Interface. 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), [Fukuoka, Japan], (2012.12.17).
- ⑥ Y. Jiang, Y. Liu and T. Matsumaru. Applying Infrared Radiation Image Sensor to Step-on Interface: Touched Point Detection and Tracking. 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), [Fukuoka, Japan], (2012.12.17).
- ⑦ Y. Liu, Y. Jiang and T. Matsumaru. Development of Image-projective Desktop Arm Trainer, IDAT. 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), [Fukuoka, Japan], (2012.12.16).
- ⑧ R.B. Widodo, W. Chen and T. Matsumaru. Interaction Using the Projector Screen and Spot-light from a Laser Pointer: Handling Some Fundamentals Requirements. SICE Annual Conference 2012, [Akita, Japan], (2012.08.22).

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

- 出願状況（計0件）
- 取得状況（計0件）

〔その他〕

- ホームページ  
(研究室)

<http://www.waseda.jp/sem-matsumaru/>

(個人)

<http://www.aoni.waseda.jp/matsumaru/>

- 展示会等への出展・デモンストレーション

- ① 2013 国際ロボット展・RT 交流プラザ (主催: (一社) 日本ロボット工業会, 共催: 日刊工業新聞社), [東京国際展示場], (2013.11.06 水~09 土).

- ② 北九州学研都市第 13 回産学連携フェア  
(主催：北九州学研都市産学連携フェア実行委員会, (公財)北九州産業学術推進機構), [北九州学術研究都市], (2013. 10. 23 水～25 金).
- ③ 北九州学研都市第 12 回産学連携フェア  
(主催：北九州学研都市産学連携フェア実行委員会, (財)北九州産業学術推進機構), [北九州学術研究都市], (2012. 10. 17 水～19 金).
- ④ 第 49 回 日本リハビリテーション医学会学術集会 (主催：(社)日本リハビリテーション医学会), [福岡国際会議場], (2012. 05. 31 木～06. 02 土).
- ⑤ 北九州学研都市 報道記者見学ツアー  
(公財)北九州産業学術推進機構), [北九州学術研究都市会議場], (2012. 04. 24 火).
- ⑥ 2011 国際ロボット展 RT 交流プラザ (主催：(社)日本ロボット工業会, 共催：日刊工業新聞社), [東京国際展示場], (2011. 11. 09 水～11. 12 土).
- ⑦ 北九州学研都市第 11 回産学連携フェア  
(主催：北九州学研都市産学連携フェア実行委員会, (財)北九州産業学術推進機構) [北九州学術研究都市] (2011. 10. 19 水～21 金).
- ⑧ 第 51 回西日本総合機械展 (主催：(財)西日本産業貿易コンベンション協会) ロボット産業マッチングフェア北九州 2011 (主催：北九州ロボットフォーラム), [西日本総合展示場], (2011. 06. 23 木～25 土).

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

松丸 隆文 (MATSUMARU, Takafumi)

早稲田大学・大学院情報生産システム研究科・教授

研究者番号： 10313933

### (2) 研究分担者

(なし)

### (3) 連携研究者

(なし)