

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500248

研究課題名(和文) 動的環境におけるユビキタス・ディスプレイの振る舞いの解明

研究課題名(英文) Elucidation of Behavior Model for Ubiquitous Display in a dynamic environment

研究代表者

李 周浩 (Lee, Joo-Ho)

立命館大学・情報理工学部・教授

研究者番号：80366434

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人と情報、その情報を投影するロボットが共存するために必要なロボットの行動モデルの解明を試みた。人の視線の先の環境上に情報を投影することで人が情報源を探したり、情報源へ身を動かしたりすることなく、また、特別な装置を持ったり、身に付けたりしなくても情報を得ることの可能な人間中心型情報提示システムを実現するために、人の動きと環境の変化に対してロボットがどのような振る舞いをするべきであるかを明らかにした。動的な環境として大型商業施設を想定し、人と共存するとともに適切な情報支援を行う振る舞いモデルを提案した。提案したモデルは、コンピュータシミュレーションと実機実験を通して有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：Behavior Model for Ubiquitous Display in a dynamic environment was elucidated in this research. As a dynamic environment, a shopping mall was assumed and a behavior model for supporting people in the environment by Ubiquitous Display (UD) was proposed in research. UD is an autonomous mobile projection robot which consists of a mobile platform and a projector with pan-tilt mechanism. This structure enables UD to provide visual information for people anywhere by projecting on real objects. In this research, the behavior model was built and verified. The model defines state of actions of UD. In each state, UD decides autonomously optimal behavior of UD such as target person, projection position, standing position, pathway, and information provision time according to proposed method. In addition, simulator and real machine experiments were performed, and the result shows validity of the proposed behavior model.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボット 物理エージェント 自律システム

1. 研究開始当初の背景

近年、人と共存し、人にサービスを行う、サービスロボットに関する関心が高まってきた。また、ロボットのイメージも従来の人間の労働力に代わる、物理的な作業を行うものから、人を相手する、人を癒すなど、役割が拡張された。本申請者は移動プラットフォーム、パンチルト機構、プロジェクタ、コンピュータグラフィックス(CG)などをインテグレーションして、真の人間中心型情報提示の実現を目指し、ユビキタス・ディスプレイ(以下UD)を2006年から研究してきた。

国外では欧米を中心に2005年前後からプロジェクタとパンチルト機構を組み合わせた商品が開発される、プロジェクタとカメラを組み合わせた研究が活発に行われるなどプロジェクタを用いた様々な研究・開発が行われている。国内外の関連分野の動向を見るとプロジェクタを用いた情報の提示はこれからも需要が増えると予想できる。その中で人間と共存し、人間を中心に情報を提供する、新しい概念のロボットを提案して着実に研究してきた本研究は先駆者的なものである。

2006年にUDを提案し、壁や床などに矢印や場所名などを表示して人を所定の場所まで案内する研究を行った。2007年に制御安定性と応答性を向上させた新しいハードウェアを設計・製作し、UDが停止・移動中にも任意の場所にCG情報を歪みなく投影できるようにした。2008年にUDを用いた裸眼立体視手法を提案した。2009年にプロジェクタの弱点である、本来の背景より暗い領域、すなわち、影の表現が難しいといった問題点をCOC錯視効果(人間の目は輝度が一定の勾配で変化するとその変化に気づきにくい現象を用いた錯視)を用いて解決し、自然な影を表現する手法について研究を行った。特にこの研究はその成果を発明特許として出願した(特願2010-230520)。2010年には、限られた条件下でのユーザに対して最適なUDの位置を計算する、シミュレーションの研究を行った。

2. 研究の目的

人と情報、その情報を投影するロボットが共存するために必要なロボットの行動モデルを解明する。近年、これまでのロボットの役割とは異なる情報提示メディアとしての役割が提案され、その期待が高まりつつある。本研究では人の視線の先の環境上に情報を投影することで人が情報源を探したり、情報源へ身を動かしたりすることなく、また、特別な装置を持ったり、身に付けたりしなくても情報を得ることの可能な人間中心型情報提示システムを実現するために、人の動きと環境の変化に対してロボットがどのような振る舞いをするべきであることを明らかにする。

人間中心型情報提示の基本は人の視線の先の空間に情報を投影することである。しか

し、実際に人間が活動する生活空間で人とロボットが共存しながら人間中心型情報提示を行うためには解決すべき問題がたくさんある。その中から本研究期間内では動的環境で自然に人へ情報を投影するためにUDがどのような動きをするべきであることを解明することを中心に研究を行う。本研究期間内に明らかにする詳細な内容を以下に示す。

(1) 人にとって最適な情報投影について明らかにする。

本研究ではUDが人の視線方向にある壁や床などの環境内に必要とされる情報を投影する。しかし、最適な情報提示を行うためには、人と投影される情報までの距離、人と情報との位置関係、情報の2次元投影面積など様々なパラメータを考慮しなければならない。本研究では、定量的な評価を行い、最適な情報提示の条件を探る。

(2) 動的な環境内でUDの最適な振る舞いについて明らかにする。

実際の生活空間を想定すると、人は動いて、空間には様々な障害物が存在する。UDは人に追従しながら障害物を回避すると同時に、支援する対象者の移動方向を予測し、情報投影のために最適な位置にいないといけない。最適な位置とは、人や障害物によって遮蔽が生じる可能性が低い、人の動きに対応しやすい、情報投影の自由度(大きさ、解像度など)が高い、人に負担を与えない、少ない動きで人の追従と障害物の回避が可能な位置を意味し、これらには高いトレードオフ関係が存在するため、簡単に一つの解に定まらない。また、最適な位置とは特定の時刻においてのものであり、実際には時間的な前後関係を考慮しなければならないため、本研究では、すべての条件を考慮し変化する環境下で必要とされるUDの振る舞いモデルを求め、有効性を実証する。

3. 研究の方法

本研究は動的な環境の中で、移動プラットフォーム、パンチルト機構、プロジェクタをインテグレーションしたユビキタス・ディスプレイ(UD)が人間中心型情報提示を行うためのUDの振る舞いモデルを構築するものである。本研究で取り扱うUDの振る舞いとは、時変環境における、プロジェクタの投影、パンチルトの回転、移動プラットフォームの移動で構成されるUDの行動を意味する。UDの振る舞いを定量化・定式化による最適解問題解決手法(下記のa, f)と、評価実験の結果フィードバックによる改善手法(下記のb, f)と、人間工学・認知心理学とロボット工学をインテグレーションした手法(下記のc, d, e, f)の3種類に分類し、それぞれを定めて統合する予定である。研究期間内に行う詳細な研究内容は以下の通りである。

- a. 定式化及び最適解模索
- b. 投影情報の定量的評価
- c. 人物の位置同定及び動き予測

- d. 人物のトラッキング
- e. 情報投影と人物トラッキングを考慮した障害物回避
- f. 環境変化の認識

本研究は研究室に設けた実験環境で行う予定で、実験環境内にはカメラが分散配置され、個人認証、人やロボットの位置同定、顔の向き検出、表情認識などの機能が実装されており、評価実験が容易にできる。また、普通のカメラ以外にもモーションキャプチャシステムが実験環境内に用意されているので正確な定量的評価が可能である。

4. 研究成果

本研究の成果は大きく3つにまとめられる。1番目は、新しいUDの開発、2番目は、人にとって最適な情報投影についての調査、3番目は、動的な環境内でUDの最適な振る舞い解明である。

(1) 新しいUDの開発

先行研究で思量したUDには以下のような問題点が存在した。

投影画像のぶれ

パンチルトモータの性能

重心位置の高さ

移動プラットフォームの自由度

外部センサへの依存

以上の旧プロトタイプの問題点を解決するため、新プロトタイプ Ubiquitous Display 2.0 (UD2.0) を開発した(図1)。UD2.0 は旧プロトタイプと同様に移動プラットフォーム上にパンチルト機構付プロジェクタを搭載したものとなっているが、安定性を増やすため、DC-AC インバータといった重量の大きい部品を低い位置に設置するなどの改善をしている。UDの移動自由度を増やすために、移動プラットフォームとして KUKA 社の youBot を採用した。youBot は、オムニホイールによる全方向移動機構を備えており、移動自由度が増すだけではなく、情報提示のための最適な立ち位置まで迅速に移動できることが期待できる。さらに、全方向移動機構を持つプラットフォームは、二輪型と比較して移動中に揺れにくいといった特長があり、投影画像のぶれの改善も期待できる。旧プロトタイプと同様、UD2.0 のプロジェクタプラットフォームも FC-PT 機構を採用している。UD2.0 ではモータとして、Robotis 社の Dynamixel MX-64 を採用した。このモータは以前に比べて角度制御分解能が画期的に向上しており、円滑な投影画像の移動やぶれの改善が期待できる。プロジェクタにおいても旧プロトタイプよりも消費電力と輝度が向上した NEC の NP-64J を使用している。活動環境のセンサネットワークに依存しない環境認識のために、Microsoft 社の Kinect センサを UD2.0 に搭載した。Kinect によって人の位置だけではなく、ジェスチャや年齢や性別といった属性を認識することで、より個人に特化した情報の提示やインタラクシヨ

ンの実現が期待できる。UD2.0 に北陽電機の Laser Range Finder (LRF) \ UTM-30LX を2台搭載した。図1で示したように、前後に LRF を取り付けることで、UD から見た全方位をセンシングすることができる。この LRF は、UD の自己位置推定や障害物等との衝突回避に用いられる。UD は移動型ロボットであるためバッテリーの搭載は必須である。youBot のバッテリーは本体に内蔵されているので、ここではそれ以外の機器の電源について述べる。電源は、22.2 [V] のバッテリーを2台並列にして用いる。プロジェクタおよびコンピュータには AC 100 [V] が必要であるので、DC-AC インバータを用いて変圧を行う。一方で、Dynamixel、LRF および Kinect には、DC 12 [V] が必要であるから、DC-DC コンバータで変圧する。また、大電流が流れ得る回路であるため、安全のために電源の ON/OFF には、リレー回路を用いる。



図1. Ubiquitous Display 2.0

(2) 人にとって最適な情報投影

快適に視覚的情報提示を行うには、人間工学を考慮した位置に情報を投影することが望ましい。そこで人間の目に関する情報受容特性を元に投影位置を考慮する。人間の視野は、人間の網膜の中心から離れるに従って視機能が低下する。そのため、広い視野から情報を得ようとする際には、眼球運動だけではなく頭部を運動させて、その情報対象を網膜の中心に移動させる。快適に情報提示を行うには、頭部を動かさず、または動かす場合でも無理のない姿勢で情報を把握できなければならない。

ここで、視野に関して有効視野、注視安定視野、補助視野の3つに分類する。有効視野とは、眼球を動かすのみで情報を見ることが可能で、かつ瞬時に特定情報を雑音内より把握できる範囲である。注視安定視野は、頭部運動が眼球運動を助ける状態で発生し、無理なく注視が可能な範囲である。最後に補助視野は、情報受容が極端に低下し、強い刺激などの注視動作を誘発させる程度の補助的な働きをする範囲である。情報を提示する際には、できるかぎり有効視野・注視安定視野内

で行うことが望ましい。

UDによる視覚情報は、壁や床・物などに直接情報を提示できるとともに、その情報を移動させることで人の視線や歩行を誘導することができるという特徴がある。このような視覚情報提示において、人が安全に歩行する際の周辺状況の把握しやすさや投影情報の見やすさを考慮しなければならない。そこで、周辺状況の把握しやすさや投影情報の見やすさに影響すると考えられる項目を以下に示す。

投影情報と人の距離

投影情報の移動速度

投影情報の大きさ

これら三つの項目に対して、実験・検証を行った。

情報の投影位置と人の距離について、評価を行った。評価する位置は人から0.5[m]の床面を出発点として、1[m]間隔でA~Eの5条件とした。また周辺状況把握を模擬して、被験者から6[m]の位置の壁にも視覚情報を提示した。床面の人に近い提示情報と壁の人から遠い提示情報のどちらか一方にひらがな・カタカナの単語を提示した。被験者は単語の提示に気付いた際に、その提示情報を指差して単語を読み上げる。単語が提示された時間から読み上げるまでの時間を回答時間とした。ただしUDによる提示情報の文字の大きさ、フォントは同じものとした。評価は、回答時間と見やすさに関する5段階のアンケート調査を行った。この結果から、本研究では、投影情報と人の最適距離の関係を導出した。

投影情報の移動速度について、条件A:0.1[m/s]~E:0.5[m/s]の0.1[m/s]刻みの条件で評価を行った。投影位置は最初に投影する位置を中心として、縦・横それぞれ0.5[m]刻みの位置に条件A~Eの速度で移動させた。このとき、タスクとして10文字の類似した漢字の中から指定された漢字を探す作業を行った。投影画像を提示してから被験者が指定した漢字を見つけ出すまでの時間を回答時間とする。UDによる情報提示の大きさ、フォントは同一である。評価は、回答時間と見やすさに関する5段階のアンケート調査を行った。この結果から、本研究では、最適な投影情報の移動速度を導出した。

投影情報の大きさに関して、横×縦の条件A:0.20×0.15[m]、B:0.95×0.72[m]、C:1.70×1.25[m]、D:2.45×1.84[m]、E:3.20×2.40[m]の5条件とし、評価を行った。このときのタスクとして、15文字の類似した漢字の中から指定された漢字を探す作業を行った。投影画像を提示してから被験者が指定した漢字を見つけ出すまでの時間を回答時間とする。UDによる提示情報の文字のフォントは同じものとした。評価は、回答時間と見やすさに関する5段階のアンケート調査を行った。この結果から、本研究では、最適な投影情報の大きさを導出した。

(3) 動的な環境内でUDの最適な振る舞い利用者に対してUDが情報支援を行うためには、UDが自律的に最適な位置に移動した上で情報を投影する必要がある。この最適なUDの立ち位置の決定および経路計画を行うために、UDの行動エリアをグリッドマップ化した上で、最適な立ち位置を決めるFactorを以下のものと定義した。

・正常表示

Factor1 投影画像の台形歪み補正量の考慮

Factor2 投影画像の解像度の保障

・衝突回避

Factor3 利用者との異常接近・衝突回避

Factor4 障害物との衝突回避

・投影遮蔽回避

Factor5 利用者による投影画像の欠損回避

Factor6 障害物による投影画像の欠損回避

・その他

Factor7 UDの移動距離

Factor8 前時刻の最適位置からの距離

Factor9 利用者の向き

それぞれのFactorの評価関数を図2のように定式化し、これらを組み合わせた目的関数により各セルの評価値を計算した上で、最適なUDの立ち位置を求める。また、経路においては、Navigation Functionを基に、障害物を考慮したマンハッタン距離とUDの立ち位置に関する評価値の和を各セルの値として計画する。このことにより、単に障害物を回避するだけでなく、投影画像の欠損回避といった、UDによる情報投影を考慮した経路計画を行うことができる。

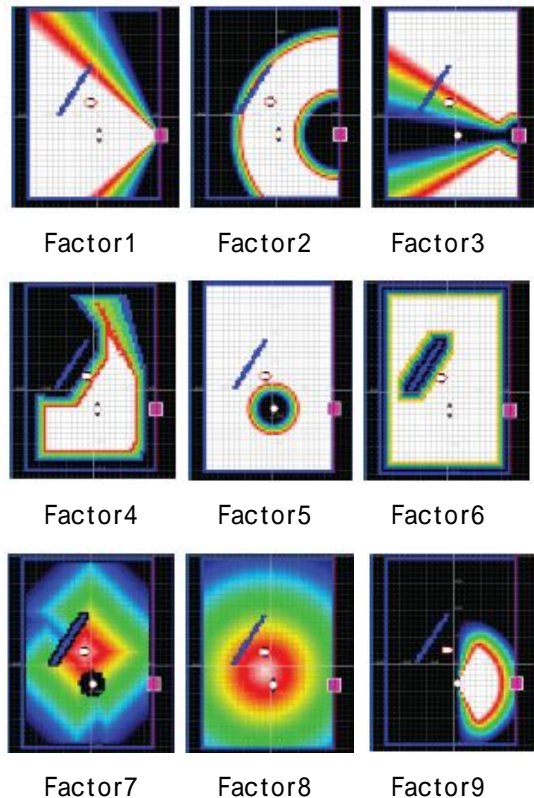


図2 定式化された各Factorの可視化

UD が動的な環境下でサービスを提供するためには、まずサービスを提供する状況を明確にする必要がある。そこで、本研究では大型商業施設としてショッピングモールを想定し、UD がショッピングモール内の利用者に提供するサービスを含めた開発のコンセプトを述べると共に、それらから導き出されるシナリオを定義する。

近年一般的になりつつある大型のショッピングモールは、様々な種類の店舗が一か所に集まることで利便性は高まるが、敷地面積が広がることで、フロアマップが必須になることや店舗情報が把握しづらいといった問題点が存在する。UD はその構造により、自ら移動し壁や床などあらゆる場所に情報投影できる。これにより利用者は、移動や情報端末の携帯・操作を強いられることなくフロアマップなどの情報を得ることができる。さらに UD の開発コンセプトである能動的な情報支援により、UD が自ら人々に近づきサービスを提供することで店舗の販促や宣伝を行うことも期待できる。これらの理由により本研究では、UD がサービスを提供する商業施設として、大型のショッピングモールを想定した。

ショッピングモールにおける UD によるサービスを仮定し、UD が利用者に対してサービスを提供するまでの流れを 1 つのシナリオと見立てる。本シナリオでは、複数の利用者から対象となる利用者を一人または一組を決定した上で、UD がその利用者に接近し広告の提示を行う。本モデルでは、UD が提示対象（利用者）に広告を提示するまでの一連の流れを分析し、それらを図 3 に示す 4 つの状態とし、状態遷移モデルを構築した。

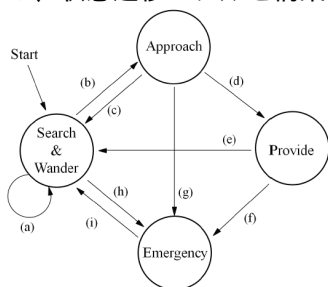


図 3 シナリオに基盤した状態遷移モデル

行動モデルでは、現時刻における UD と利用者の位置・向き、および環境の情報に基づき、情報提示を行うための最適な投影位置・UD の立ち位置・経路を決定した。しかし、ショッピングモールで歩行している利用者に対して情報提示を行うことを想定した場合、現時刻の利用者の位置・向きに基づいて決定した投影行動では、UD がその行動を完了する頃には利用者が既に別の位置に移動している可能性が高い。この問題を解決するため、現時刻から 5 秒後までの利用者の移動予測を行い、各時刻における利用者の予測位置を基礎行動モデルに適用し、UD が情報提示を行う最適な時刻および投影位置・UD の立ち位置・移動経路を決定する。利用者が等速

直線運動をしているとの仮定のもと、拡張カルマンフィルタを用いて、各時刻における利用者の位置の推定を行い、情報提示を行う（図 4）。

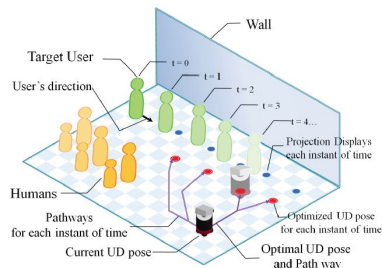


図 4 ターゲットユーザ選定と動き予測

提案する行動モデルの有効性を示すため、コンピュータシミュレータを用いて検証実験を行った。

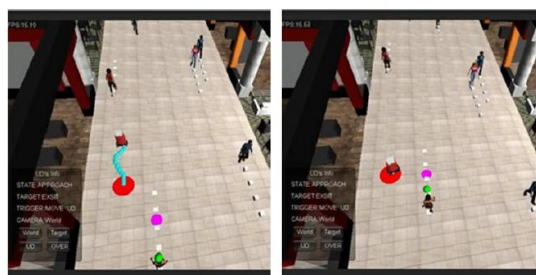


図 5 動的環境におけるシミュレーション

本研究で提案する行動モデル実機検証を行った。実験は、8.0×7.3 [m] の範囲で行った。UD はこの範囲を自由に移動することができ、被験者は実験環境を通過し、UD が被験者を認識すると提案した行動モデルに従って接近し、被験者の前方 2.5 [m] の位置に情報を投影した（図 6）。環境認識は、UD に搭載されている Laser Range Finder（北洋電機、UTM-30LX）を用いた SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）、Microsoft Kinect による人物追跡によって実現した。行動モデルやプロジェクタプラットフォームの制御といった UD の主たる機能は、UD に搭載したもう 1 台のコンピュータ（Windows 7、Core i7 3.4GHz、8GB RAM）で行った。なお、開発効率やプログラムの再利用性を高めるため、各機能は RT ミドルウェアの RT コンポーネントとして実装した。実験を通して UD の振る舞い解明のために定量的な評価と定性的な評価を行った。



図 6 実機実験の様子

以上のシミュレーションと実験を通して、動的環境における UD の振る舞いモデルについて評価を行い、提案モデルの有効性を示し、UD の振る舞いモデルについて解明することができた。

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

著者名: Kazufumi Saito, Akira Yoshimura, and Joo-Ho Lee、論文標題: Memory Recollection and Retrieval Based on Monitoring Human and Object in the iSpace、雑誌名: Journal of Advances in Computer Networks、査読: 有、巻: 1(2)、10.7763/JACN、発表年: 2013、ページ: 94-98

著者名: Joo-Hyung Kim, Jeong-Eom Lee, Joo-Ho Lee and Gwi-Tae Park、論文標題: Motion-based Identification of Multiple Mobile Robots using Trajectory Analysis in a Well-configured Environment with Distributed Vision Sensors、雑誌名: International Journal of Control, Automation, and Systems、査読: 有、巻: 10(4)、10.1007/s12555-012-0415-4、発表年: 2012、ページ: 787-796

著者名: Jeong-Eom Lee, Joo-Hyung Kim, Sang-Jun Kim, Yong-Guk Kim, Joo-Ho Lee and Gwi-Tae Park、論文標題: Human and Robot Localization using Histogram of Oriented Gradients(HOG) Feature for an Active Information Display in Intelligent Space、雑誌名: Advanced Science Letters (ASL)、査読: 有、巻: 9(1)、10.1166/asl.2012.2541、発表年: 2012、ページ: 99-106

〔学会発表〕(計 18 件)

表者名: Kosuke Maegawa、発表表題: Ubiquitous Display 2.0:Development of New Prototype and Software Modules for Improvement、学会名等: URAI 2013、発表年月日: 2013 年 10 月 31 日、発表場所: 済州島(韓国)

表者名: JongSeung Park、発表表題: The research on the algorithm for the optimal position and path for MoMo、学会名等: IECON 2013、発表年月日: 2013 年 10 月 31 日、発表場所: ウィーン(オーストリア)

表者名: Maegawa K.、発表表題: Ubiquitous Display 2.0: Improvements in Consideration of Stability, Comfort, and Interactivity、学会名等: IICST2013、発表年月日: 2013 年 9 月 5 日、発表場所: トムスク(ロシア)

表者名: Joo-Ho Lee、発表表題: FRC based Augment Reality for Aiding Cooperative Activities、学会名等: 2013 IEEE RO-MAN、発表年月日: 2013 年 8 月 27 日、発表場所: Gyeongju (韓国)

表者名: Tomoyuki Shiotani、発表表題: Building a Behavior Model for the Ubiquitous Display to be used in a

large-scale public facility、学会名等: URAI2012、発表年月日: 2012 年 11 月 27 日、発表場所: Deajeon (韓国)

表者名: JongSeung Park、発表表題: Reconfigurable Intelligent Space, R+iSpace, and Mobile Module, MoMo、学会名等: IROS 2012、発表年月日: 2012 年 10 月 10 日、発表場所: Vilamoura (ポルトガル)

発表者名: 塩谷 朋之、発表表題: 大型公共施設においてサービス提供を行う Ubiquitous Display のための行動モデルの構築、学会名等: 日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会 (RSJ2012)、発表年月日: 2012 年 9 月 18 日、発表場所: 札幌コンベンションセンター(北海道)

表者名: Tomoyuki Shiotani、発表表題: A Behavior Model of Autonomous Mobile Projection Robot for the Visual Information、学会名等: URAI2011、発表年月日: 2011 年 11 月 25 日、発表場所: Incheon(韓国)

表者名: 塩谷 朋之、発表表題: 視覚情報支援のための自立移動投影ロボットの行動モデル、学会名等: 第 29 回日本ロボット学会学術講演会(RSJ2011)、発表年月日: 2011 年 9 月 9 日、発表場所: 芝浦工業大学(東京都)

表者名: 塩谷 朋之、発表表題: 動的環境下における移動投影ロボットの行動モデル、学会名等: ROBOMECH2011、発表年月日: 2011 年 5 月 28 日、発表場所: 岡山コンベンションセンター(岡山県)

〔図書〕(計 1 件)

著者名: JongSeung Park、Joo-Ho Lee 出版社名: CRC Press、書名: Sensor Networks for Sustainable Development、発行年: 2014(予定)、総ページ数: 568

〔産業財産権〕

出願状況(計 1 件)
名称: 空間制御システム、移動システム、移動モジュール、及び移動面部材
発明者: 李周浩
権利者: 学校法人 立命館
種類: 特許
番号: 特願 2012-119562
取得年月日: 2012 年 5 月 25 日
国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.ais.ics.ritsumeai.ac.jp/ud/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

李 周浩 (LEE JOOHO)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 80366434