

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2009～2014

課題番号：21220003

研究課題名(和文) レンズレス全方位センサによる装着型アンビエント監視と児童防犯への発展

研究課題名(英文) Ambient Surveillance using a Wearable Lensless Omnidirectional Sensor - Prevention of Crimes against Children -

研究代表者

八木 康史 (Yagi, Yasushi)

大阪大学・産業科学研究所・教授

研究者番号：60231643

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 162,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、従来の反射屈折光学系から、より小型軽量化が期待できるレンズレス全方位反射光学系を提案し、1立方センチの反射光学系を試作した。その上で、通学防犯を対象に社会実装を目標に掲げ、屋外でかつ子供が利用することを想定し、以下の機能を実現した。

1) 高度化：相互遮蔽が起きうる人が混在した状況下での安定な実時間距離計測から人物検出・断片断続歩容映像からの個人識別、2) 高度化：歩行速度、服装変化等の状況変化に対応した歩容認証手法の確立、3) 新機能：装着者自身の本人認証・行動予測による異常事態の発見手法の構築、4) 新機能：携帯型システムの消費電力軽減の観点から低フレーム映像列からの歩容認証手法の実現

研究成果の概要(英文)：It is desirable to engineer a small camera with a wide field of view (FOV) because of current developments in the field of wearable cameras and computing products, such as action cameras and Google Glass. However, typical approaches for achieving wide FOV, such as attaching a fisheye lens and convex mirrors, require a trade-off between optics size and the FOV. We propose camera optics that achieve a wide FOV, and are at the same time small and lightweight. The proposed optics are a completely lensless and catoptric design. In this project, a catoptric FOV wearable camera is developed for applying to school security. We have also developed several human sensing technologies useful for school security. 1) Pedestrian Detection by using a Spatio-temporal Histogram of Oriented Gradients, 2) Effective Part-Based Gait Identification, 3) Clothes & speed & view invariant gait recognition, 4) Inertial sensor-based gait recognition & abnormal detection, 5) Low frame-rate gait Recognition

研究分野：視覚情報処理

キーワード：画像, 文章, 音声等認識 計測工学 ウェアラブルセンサ 歩容認証 全方位センサ 反射光学系

1. 研究開始当初の背景

暴行・殺人等の凶悪犯罪は、監視カメラが設置されていない場所や人気のない街頭で多発する。そこで、研究代表者は装着型全方位センサによる携帯監視（基盤研究(S)H17-H21）を提案し、ユーザ自らの周囲を見守るといふ、全く異なる発想での監視カメラ技術を構築した。

その一方で、学校関係者、保護者、メーカー関係者等への聞き取り調査より、装着型センサの小型化が望ましく、また破損時のセンサ交換の容易さを考慮した設計がよいとのコメントを受けている。また、歩行速度、服装変化などの条件変化に頑健な歩容認証手法や、装着者自身の本人認証や異常発見といった新機能の追加や高度化が求められていた。

2. 研究の目的

装着型センサについて、従来の反射屈折全方位光学系から、より小型軽量化が期待できるレンズレス全方位反射光学系を提案し、1立方センチの全方位センサを目指す。

その上で、通学防犯を対象に社会実装を目標に掲げ、屋外でかつ子供が利用することを想定し、以下に挙げる機能を実現する。

- 1) 高度化：相互遮蔽が起きうる人が混在した状況下での安定な実時間距離計測から人物検出・断片断続歩容映像からの個人識別。
- 2) 高度化：歩行速度、服装変化等の状況変化に対応した歩容認証手法の確立
- 3) 新機能：装着者自身の本人認証・行動予測による異常事態の発見手法の構築
- 4) 新機能：携帯型システムの消費電力軽減の観点から低フレーム映像列からの歩容認証手法の実現

3. 研究の方法

(1) レンズレス全方位センサ

レンズレス全方位センサは、受光用レンズを用いないことから、色収差の影響を受けない一方で、ミラーの物理的配置が設計上の制約となる。そこで、集光特性とミラーの物理的配置を考慮した上で、複数の光学系を設計・試作する。なお、子供による携帯型を考慮し、全方位センサ1台の重量を10g、大きさ1立方cmを目指す。

(2) 相互遮蔽が起きる人が往来する状況下での安定な人物検出・個人識別

安定な人物検出を行うには、人物の形状のみならず、歩行時の動き特徴をうまく取り入れることが必要となる。そこで、人物検出の分野で標準的に用いられているHistogram of oriented gradient (HOG)特徴を時空間編と拡張することで、形状と動きの両方を反映した人物検出器を構築する。

(3) 動的背景、動のカメラのもとでの人物領域セグメンテーション手法

装着型の場合、人の移動に伴い映像内の背景も変化する。従って、背景差分のような手法だけでは人物領域の抽出が困難である。そこで、領域セグメンテーションの手がかりとして、歩容標準モデルを事前知識として導入することで、一部かけのあるような前景領域であっても歩行者の前身シルエットを安定に抽出する手法を開発する。

(4) 服装変化に対応した歩容認証手法

ロングコート・スカート・マフラー等の服装を組み合わせ合わせた合計32種類の服装変化を伴う歩行映像データベースを構築する。また、服装変化によるシルエット変化は、体の部分によって異なるため、シルエットを体の部位に分割し、服装変化による影響を受けない部位により大きな重みを与えて、部位毎の照合度を重み付き線形和で統合することで、認証率を向上させる。

(5) 速度変化に対応した歩容認証手法

速度変化は歩幅や腕の振り・足の運びの変化といった歩容運動の違いとして現れるため、人体のリンクモデルを当てはめにより、関節角系列を運動情報として抽出する。複数の学習被験者の様々な関節角系列を用いて速度変換モデルを学習し、任意速度の歩容シルエット画像の変換を行う。

(6) 装着者自身の本人認証・行動予測による異常事態の発見

加速度センサにより計測された姿勢変化情報から、信号の位相合わせや歩容周期推定を行い、予め登録した本人との比較により、装着者が児童本人か否かの本人認証を行う手法を構築する。さらに、歩行の中でも細かい動作分類を行えるような行動認識手法を構築し、異常動作の検出に利用する。

(7) 携帯型システムの消費電力軽減から低フレーム映像列からの歩容認証

低フレームレート映像に対して、時間超解像を適用することで高い認証精度を実現することを目指す。具体的には、一周期の歩行映像をパラメトリック固有空間法の枠組で多様体表現し、その変化の範囲を学習被験者の映像によって制約する。認識時には、低フレームレートの歩容シーケンスから高フレームレートの多様体を復元し、そこから抽出される歩容特徴を照合する。

(8) モデル小学校の児童ボランティアによる有用性評価、社会実装を意識した地域社会との連携

登下校緊急時映像配信ソフトとして、「録る、送る、知る」の3つのモードを持つ装着システム用ソフトを開発する。また、児童による実証実験に際しては、教職員、保護

者等への説明会・ヒアリングを実施する。その上で、児童に装着型センサを携帯して貰い、1ヶ月程度の実証実験を実施し、ログの記録・解析を行う。

4. 研究成果

(1) レンズレス全方位センサ

設計したレンズレス全方位センサは、広角視野を確保するための wide-viewing optics と結像を目的とする imaging optics からなる4回反射光学系である(図1)。wide-viewing optics では、主鏡として双曲面ミラーを、副鏡として平面ミラーを用いている。双曲面ミラーを用いたことで、単一視点光学系を維持した水平180度の広角視野を実現した。一方 imaging optics は、aperture mirror と focusing mirror からなり、aperture mirror により、像面に到達する光束を制限し、制限された光束を focusing mirror により平行光系のまま像面に集光している(図2)。一般に光学部品数が増えると厳密なアライメントが要求される。本設計では、主鏡と aperture mirror、副鏡と focusing mirror を各々一体成形することで、部品点数を減らし、ミラー間のアライメントを最小限にした。図3は、実際に試作したレンズレスセンサである。反射光学系部分は、人への装着を想定し、1ペニーとかわらない大きさで180度の水平視野、40度の垂直視野が実現できている。試作では、カメラとして、Point Gray Fire fly MV ボードカメラならびに Sony HDR-AS15 アクションカメラを用いた。単一視点の性質を維持していることから、図4のように人に観やすいパノラマ映像の生成も可能である。

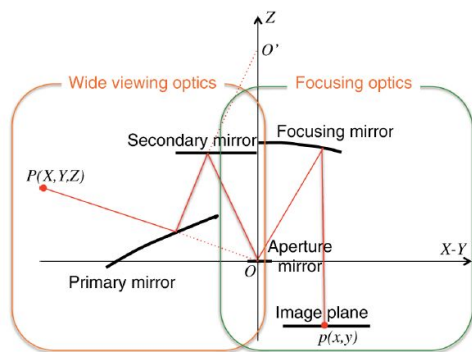


図 1. 設計したセンサの光学系

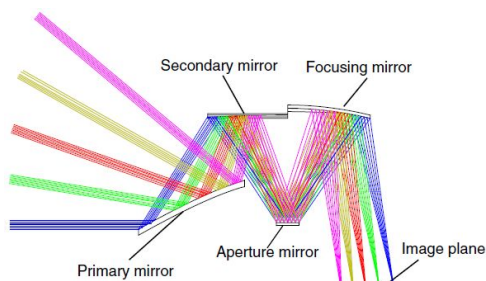


図 2. 光学設計

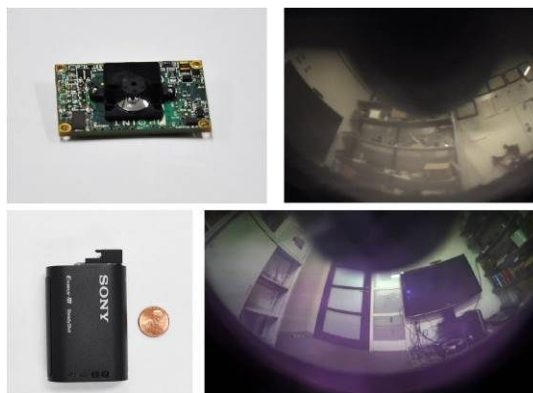


図 3. レンズレス全方位センサの試作機 (左: センサ外観、右: 撮影画像)

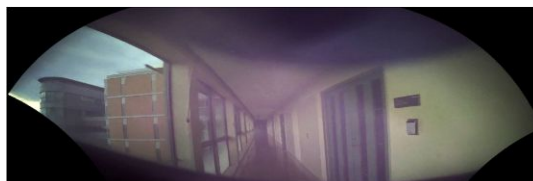


図 4. パノラマ画像

(2) 相互遮蔽が起きる人が往来する状況下での安定な人物検出・個人識別

形状情報と動き情報の双方を加味した、時空間勾配ヒストグラムによる STHOG 特徴と AdaBoost による歩行者検出手法を提案した。公開データベース PETS2006、PETS2009 View01、View02 に対して、HOG、HOGHOF、HOG3D 特徴を用いた歩行者検出の従来手法と比較し、提案手法の有効性を確認した(図5)。



図 5. PETS 2009 View 01 に対する歩行者検出結果 (左上: HOG、右上: HOGHOF、左下: HOG3D、右下: STHOG(提案手法))

(3) 動的背景、動的カメラのもとでの人物領域セグメンテーション手法

部分的に欠けのある初期人物領域に対して、歩容標準モデルと Dynamic Time Warping (DTW) を適用することで、人物領域の追跡及びセグメンテーションを行う枠組(図6)を提案し、それにより歩容認証の性能が改善することを確認した。また、小領域のパッチに基づく追跡及び領域分割手法、連続フレームにおける形状の連続性を利用した追跡及び領域分割手法を開発した。

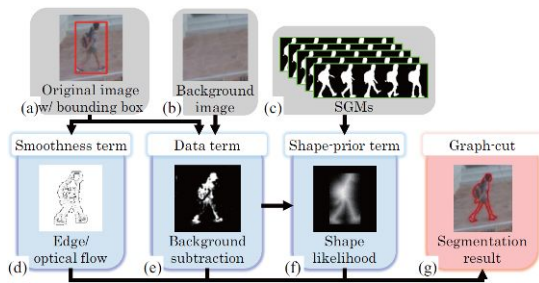


図 6. 標準歩容モデルを用いた人物領域セグメンテーションの枠組

(4) 服装変化に対応した歩容認証手法

ロングコート・スカート・マフラー等の服装を組み合わせた合計 32 種類の服装変化の歩容データベースを構築した(図 7)。また、シルエットを体の部位に分割し、部位毎の照合度の重み付き線形和で認証率を計算する手法を実装し、EER(等価誤り率)を従来手法の 15%から 10%に低減した。更に、服装変化の影響を受けにくい部分空間を服装タイプ毎に構築し、認識対象の服装を判断することで適切な部分空間において照合する手法(Cluster pair-wise discriminant analysis, CPDA)を提案し、EERを 6%に低減した(図 8)。加えて、本人受入閾値を認識の信頼度によって適応的に制御することで、より低い本人拒否・他人受入率を可能にする手法を構築した。

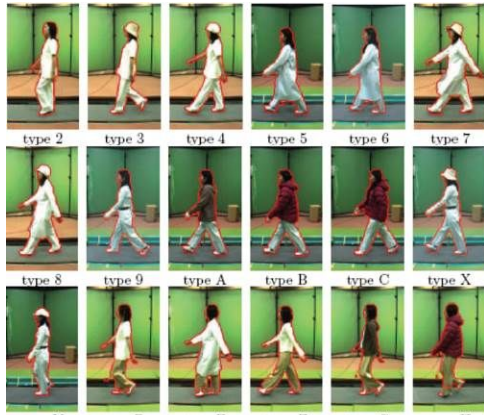


図 7. 服装変化を伴う歩容データベース

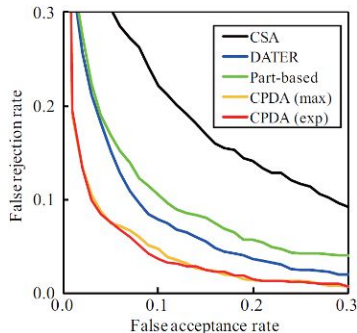


図 8. 服装変化を伴う歩容認証に対する受信者操作特性(ROC)曲線

(5) 速度変化に対応した歩容認証手法

2km/hから10km/hまでの1km/h刻みの速度変化を含む歩容データベースを構築した。また、下半身リンクの関節角を特徴量として、

速度変換モデルを学習する手法及び歩容シルエット画像復元手法を構築し(図 9) EERを従来手法の 12.5%から 9.0%に低減した。

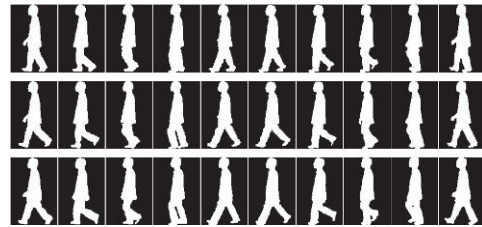


図 9. 時速 3km から時速 7km へのシルエット変換(上段: 時速 3km、中段: 時速 3km から時速 7km への変換、下段: 時速 7km)

(6) 装着者自身の本人認証・行動予測による異常事態の発見

予め登録しておいた本人の動き情報と実際に計測された動き情報を安定に照合するために、高精度な信号の位相合わせ手法を開発した(図 10)。鞆に取り付けた慣性センサを用いた 32 名の被験者による本人認証実験を行い、EER 6%を達成した。また、老若男女 736 名の被験者からなる世界最大の歩行運動データベースを構築し、統計的信頼性の高い性能評価を実施した。さらに、路面の違いによっても歩行動作が異なることに着目し、歩行動作から平坦部の通常歩行、階段の上り下り、坂の上り下りの 5 パターンを認識する問題にも取り組み、97 名の被験者による実験では 90%以上の認識率を達成した。

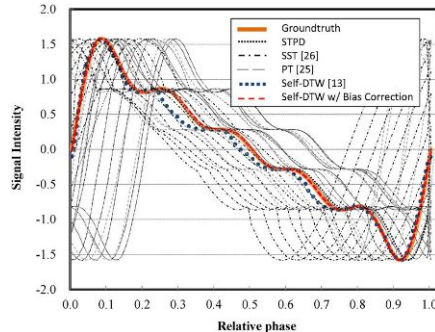


図 10. 自己動的な時間伸縮による信号の位相合わせ結果

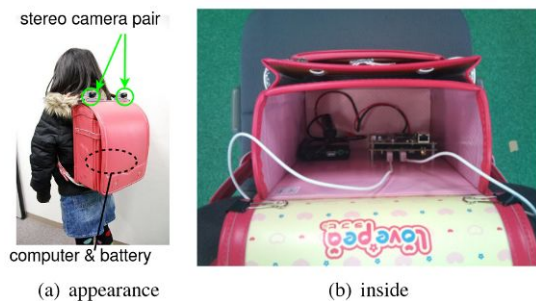


図 11. ランドセルへの装着可能な試作システム

また、小学生の登校時のアンビエント監視を目的として、ランドセルに取り付け可能な試作システムを実装した(図 11)。システム

のステレオカメラによる自己運動推定による本人認証実験を 39 人の被験者に対して実施し、提案手法が慣性センサによる本人認証と同等の認証精度(ERR 6%) を達成した。さらに、登下校時の小学生を対象とした実証実験を想定して、インターネットに常時接続可能な Android スマートフォンによるシステムの検討・実装を行った。具体的には、登下校緊急時映像配信ソフトとして、「撮る、送る」の機能を持つソフトを開発した。

(7) 携帯型システムの消費電力軽減から低フレーム映像列からの歩容認証

標準フレーム登録映像と低フレーム入力映像を共に固有空間に投影し、位同期により歩容認証を行う手法を構築した。185 人の被験者に対して 1fps から 60fps の様々な映像を用い、EER1%以下を達成した。更に、入力・登録の両映像が低フレームレートの場合へ拡張するために、一周期分の歩容画像列をパラメトリック固有空間法による多様体で表現し、入力の各歩容画像に対する位相と一歩行周期の多様体をエネルギー最小化の枠組みで交互に推定することで、高フレームレートの一歩行周期分の歩容映像を復元する手法を開発した(図 12)。

更に、フレームレートが極めて低い場合には、ワゴンホイール現象やストロボ効果によって位相推定や多様体復元が不安定になることがあるため、学習用被験者の通常フレームレートの歩容画像列を事前知識として導入することで、1fps 同士の歩行映像の照合実験において、EER を従来手法の 14% から 3.5% に低減し、Rank-1 認証率を従来手法の 52% から 87% に改善した。



図 12. 時間超解像の結果(1 行目: 低フレームレートの入力歩行映像、 2 行目: Morph(従来手法)、 3 行目: 提案手法 1、 4 行目: 提案手法 2、 5 行目: 正解映像)

(8) モデル小学校の児童ボランティアによる有用性評価、社会実装を意識した地域社会との連携

精道小学校において、児童ボランティア 8 名に協力を依頼して、2013 年 10 月 7 日から 11 月 8 日の約一ヶ月間、装着型防犯システムの実証実験を行った。図 13 は児童が通過した軌跡上を地図上に描画し、本人認証の確率を色分けして表示したものである。また、実証事件後に、システムのユーザビリティやセキュリティに関するアンケートを実施した。

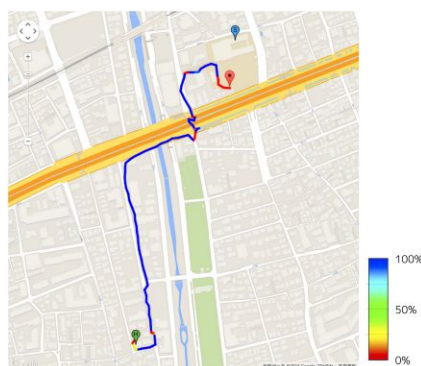


図 13. 児童の軌跡と本人事後確率

5 . 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 2 9 件)

- [J1] T.T. Ngo, Y. Makiyara, H. Nagahara, Y. Mukaigawa, and Y. Yagi, "Similar Gait Action Recognition using an Inertial Sensor," Pattern Recognition, Vol. 48, No. 4, pp. 1289-1301, Apr. 2015. DOI: 10.1016/j.patcog.2014.10.012
- [J2] H. Nagahara, Y. Yagi, "Lensless imaging for wide field of view", Optical Engineering, vol.54, no.2, pp.025114, Feb., 2015. DOI: 10.1117/1.OE.54.2.025114
- [J3] D. Muramatsu, A. Shiraiishi, Y. Makiyara, M.Z. Uddin, and Y. Yagi, "Gait-based Person Recognition Using Arbitrary View Transformation Model," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 24, No. 1, pp. 140-154, Jan. 2015. DOI: 10.1109/TIP.2014.2371335
- [J4] Y. Makiyara, M.R. Aqmar, T.T. Ngo, H. Nagahara, R. Sagawa, Y. Mukaigawa, and Y. Yagi, "Phase Estimation of a Single Quasi-periodic Signal," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 62, No. 8, pp. 2066-2079, Apr. 2014. DOI: 10.1109/TSP.2014.2306174
- [J5] T.T. Ngo, Y. Makiyara, H. Nagahara, Y. Mukaigawa, and Y. Yagi, "The Largest Inertial Sensor-based Gait Database and Performance Evaluation of Gait Recognition," Pattern Recognition, Vol. 47, No. 1, pp. 228-237, Jan. 2014. DOI: 10.1016/j.patcog.2013.06.028
- [J6] H. Iwama, M. Okumura, Y. Makiyara, and Y. Yagi, "The OU-ISIR Gait Database Comprising the Large Population Dataset and Performance Evaluation of Gait Recognition," IEEE Trans. on Information Forensics and Security, Vol. 7, No. 5, pp. 1511-1521, Oct. 2012. DOI: 10.1109/TIFS.2012.2204253
- [J7] M.A. Hossain, Y. Makiyara, J. Wang, and Y. Yagi "Clothing-invariant gait

identification using part-based clothing categorization and adaptive weight control,' Pattern Recognition, Vol. 43, No. 6, pp. 2281-2291, Jun., 2010. DOI: 10.1016/j.patcog.2009.12.020

〔学会発表〕(計116件)

[C1] A. Mansur, Y. Makihara, M.R. Aqmar, and Y. Yagi, ``Gait Recognition under Speed Transition,' Proc. of the 27th IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2014), pp. 2521-2528, Columbus, Ohio, USA, Jun. 2014. DOI: 10.1109/CVPR.2014.323

[C2] N. Akae, A. Mansur, Y. Makihara, and Y. Yagi, ``Video from Nearly Still: an Application to Low Frame-rate Gait Recognition,' Proc. of the 25th IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2012), pp. 1537-1543, Providence, RI, USA, Jun. 2012. DOI: 10.1109/CVPR.2012.6247844

[C3] A. Tsuji, Y. Makihara, and Y. Yagi, ``Silhouette Transformation based on Walking Speed for Gait Identification,' Proc. of the 23rd IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2010), pp. 717-722, San Francisco, CA, USA, Jun. 2010. DOI: 10.1109/CVPR.2010.5540144

〔図書〕(計3件)

[B1] Y. Makihara, D.S. Matovski, M.S. Nixon, J.N. Carter, Y. Yagi, ``Gait Recognition: Databases, Representations, and Applications,' John Wiley & Sons, Inc., pp.1-28, 2015.(Accepted)

[B2] 榎原 靖, 村松 大吾, 八木 康史, ``歩容による高精度個人認証技術の開発,' 高精度化する個人認証技術 ~ 身体的、行動的認証からシステム開発、事例、国際標準化まで~, 第2編 個人認証技術とシステム開発, 第4章 行動/癖による認証技術 第1節, pp. 181-191, NTS 出版, Nov. 2014.

[B3] Y. Makihara, A. Tsuji, and Y. Yagi, ``Speed-Invariant Gait Recognition,' Signal and Image Processing for Biometrics (Ed.: J. Scharcanski, H. Proenca, and E. Du), Chapter 8, pp. 209-230, Springer, Mar. 2014.

〔産業財産権〕

出願状況 (計2件)

名称: 車両周辺監視装置

発明者: 八木 康史、榎原 靖、華 春生、

宮川 恵介、岩崎 瞬

権利者: 国立大学法人大阪大学/本田技研工業株式会社

種類: 特許

番号: 特願 2012-258488、特開 2014-106685

出願年月日: 2012年11月27日

国内外の別: 国内

名称: 光学系および撮像装置

発明者: 八木 康史

権利者: 国立大学法人大阪大学

種類: 特許

番号: 特願 2012-170401、特開 2014-29431

出願年月日: 2012年7月31日

国内外の別: 国内

取得状況 (計1件)

名称: 移動体検出装置

発明者: 八木 康史、榎原 靖、華 春生

権利者: 国立大学法人大阪大学

種類: 特許

番号: 特願 2012-521311、国際公開番号WO 2011/161924、登録番号: 5467300

出願年月日: 2011年6月20日

取得年月日: 2014年2月7日

国内外の別: 国外

〔その他〕

ホームページ

<http://www.am.sanken.osaka-u.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八木 康史 (YAGI, Yasushi)

大阪大学・産業科学研究所・教授・所長

研究者番号: 60231643

(2) 連携研究者

向川 康博 (MUKAIGAWA, Yasuhiro)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 60294435

(平成24年1月まで参画)

佐川 立昌 (SAGAWA, Ryusuke)

独立行政法人産業技術総合研究所・知能システム研究部門・主任研究員

研究者番号: 30362627

(平成21年度まで参画)

榎原 靖 (MAKIHARA, Yasushi)

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号: 90403005

満上 育久 (MITSUGAMI, Ikuhisa)

大阪大学・産業科学研究所・助教

研究者番号: 00467458