

平成22年 6月10日現在

研究種目：若手研究 (A)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18680019
 研究課題名(和文) 画像群の周波数領域上での構造化に基づく多次元映像メディア技術の研究
 研究課題名(英文) A study on multi-dimensional image media technology based on analysis of images structured in the frequency domain
 研究代表者
 児玉 和也 (KODAMA KAZUYA)
 国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・准教授
 研究者番号：80321579

研究成果の概要(和文)：3次元映像など柔軟な視覚メディア環境を実現するには、空間中を飛び交う光線の情報すなわち光線空間を高密度かつ効率良く記述・活用する手法が必須である。本研究ではまず、適切に構造化された画像群と光線空間が周波数変換を介して密接に関係づけられることを明らかにし、また、このような画像群の具体的な撮像法を提案した。さらに、上記の関係に基づき、実際に取得された撮像画像群から安定かつ高速に高密度な光線空間を再構成する手法を示した。

研究成果の概要(英文)：In order to realize useful visual media such as 3-D images, we need effective technology for representing and utilizing dense light fields, that is to say, information of rays flying in the space. At first, this research formulates essential relation between some images structured appropriately and the light filed in the frequency domain. Then, a novel method for such image acquisition is proposed. Finally, based on the relation above, fast and robust reconstruction of a dense light field from the acquired images is achieved.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2007年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2008年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
年度			
年度			
総計	19,200,000	5,760,000	24,960,000

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

キーワード：映像メディア、画像処理、3次元画像

1. 研究開始当初の背景

- (1) 同一のシーンに対して視点や焦点ぼけ等の調整が可能となる多次元の映像メディア技術に関し、コンテンツのデジタル

化の潮流ともあいまって、その実現への期待は根強い。しかし、実用段階のCG技術と異なり所与の構造モデルを持たない実世界を対象としたものは、ながらく研究段階に留まっており、全く新しいアプ

ローチによる、高品質、高機能な多次元映像メディア技術の早期実現の構想が求められていた。

- (2) 多次元の映像メディア技術としては、撮像画像から対象の構造モデルを推定しこれを活用する『モデルベース』の手法が古くから世界的に研究されてきたが、このような構造推定は本質的に不良逆問題であるため完全には解決できないことが知られており、その品質の飛躍的向上は容易ではない。これに対し90年代中盤から日米同時に、構造を必要とせず対象をその発する光線情報のみで表現する『光線ベース』の手法が提案された。光線空間法とも呼ばれ理論的には極めて高品質の多次元映像メディアが構築可能であるが、出発点となる密な光線情報は膨大である上、その直接取得は光学的限界もあって極めて困難である。そこで、不良設定問題である構造推定を回避しつつ、撮像画像群を高次元の周波数領域へと必要十分な構造のみを与えて展開することで、密な光線空間が再構成できることに基づき、直接に多次元映像情報を取得、圧縮、変換、視覚化できる可能性が検討されはじめた。すなわち、従来手法の課題を克服しつつ、同時にそれらの基盤となりうるような全く新しいアプローチの多次元映像メディア技術への期待が高まることとなった。

2. 研究の目的

- (1) 多数枚の画像群を高次元の周波数領域へと統合的に展開することで、単なる2次元情報の集まりとしてではなく、直接にシーン中の構造を反映した所望の多次元映像情報を構成する手法の体系的理論化を行う。これにより、焦点ぼけ画像群や多眼画像群などを周波数領域で統合的に扱うことが可能となり、信号処理理論に基づく高い品質と機能性を多次元映像情報に付与できることを示す。具体的には、その高速な相互変換やこれを応用した高精細な光線空間の再構成、あるいはそこから的高速映像生成の機能など、高能率な圧縮等に適したコンパクトな情報量で、モデルベース、光線ベースといった多次元映像の様々な表現形式でも活用可能な品質を有する、柔軟でバランスのよい、高い汎用性を持つ多次元映像メディアが実現される。
- (2) 一般に焦点ぼけは、センシングデバイスの小型化、高性能化、高機能化が進むほどそれらの品質を損なう原因となり、除

去すべきものとして研究されてきた。ところがモデルベースや光線ベース手法の対象とされてきた多眼画像群あるいはこれと等価な光線空間であれ、通常の焦点ぼけ画像群であれ、センシングの対象を多次元空間にまで拡張しその撮像画像群を展開した高次元空間において生じる焦点ぼけ構造は、逆に極めて密な多次元映像情報を構成する。本研究ではこのような発見に基づき上述のように焦点ぼけを除去すべきネガティブな現象と捉えず、むしろ積極的に活用する全く新しい概念に基づく手法を提示する。これにより、多次元映像情報の品質や機能を大幅に向上させ高い実用性を提供する。

- (3) 光線空間の再構成に必要な十分な取得品質等はサンプリング理論から検証可能であり、圧縮もJPEGやMPEG等の知見により周波数領域ベースが有望である。また、任意の視点や焦点ぼけの映像の視覚化、補間、変換等の実現には必要な周波数成分を抽出合成する多次元フィルタを設計すれば良い。以上のような『信号ベース』の多次元映像メディア技術はすべて、高次元FFTなど並列性が高く基礎的な信号処理演算で構成されるため、FPGAなど低消費電力の小規模回路でも実装が容易であり、実際にこれを用いて取得から圧縮、視覚化までを一貫したシステムとして展開できることを実証する。携帯機器上への展開も見据え大型の専用システムに限定されない、どこでもその高い機能性を活用できる、従来のアプローチと比較して極めて統一的でスケラブルな信号ベースの多次元映像メディア技術を構築する。

3. 研究の方法

- (1) 対象シーンの空間映像情報のセンシングにおいて、レンズを用いてそこから発する光線群を取得する場合、下図(a)の通り、適当な空間変換を適用すれば、焦点の位置によらず各光線群に全て同一の構造を与えることができる。これに基づき、下図(b)のように、焦点ぼけ構造は対象シーンの空間映像情報にある3次元関数を畳み込んだものとして表すことが可能である。上記で構成した多次元映像情報は、下図(c)の通り、レンズ面上の光線空間に密接に対応しており、これを直接に分解、抽出することができる。実際に検証を行ったのち、分解された光線群を用いて再構成可能な多様な画像についてその生成手法を明らかにする。

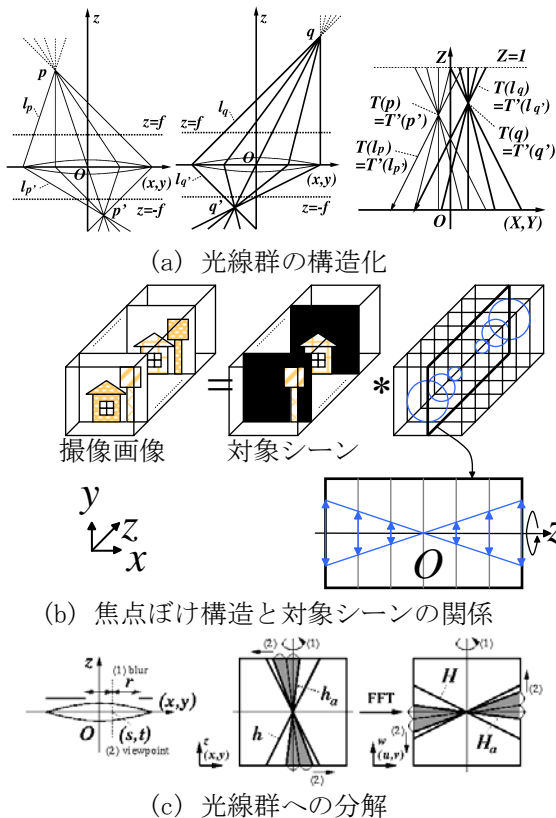


図1. 焦点ぼけ構造とその光線群への分解

- (2) 信号ベースの多次元映像メディア技術をリアルタイムレベルの実システム上に構築するための諸問題を明らかにしその解決をはかる。さらに以上に基づき、撮像から圧縮処理、映像生成までを、下図のように一体のシステムとして FPGA 上に実装し、本提案手法により低コストかつコンパクトに実システムの構築が可能となることを実証する。本研究で提案する、周波数領域上での多次元映像情報を中心とした様々な処理は、すべて基本的な信号処理演算のみで構成され、しかもその並列性は極めて高く、このような映像システムにリアルタイムレベルの高速性を提供する上で、非常に有効である。

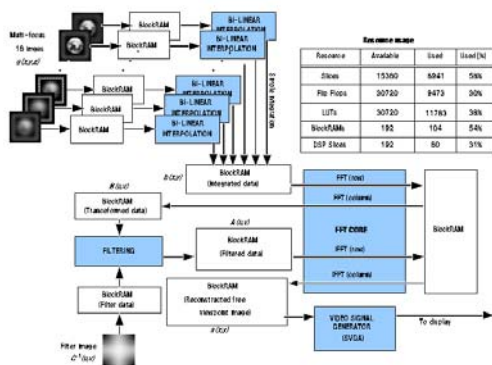


図2. FPGA への実装

4. 研究成果

(1) 焦点ぼけ構造の光線群への分解

まず、下図の通り、焦点合わせの異なる多数の撮像画像より、レンズ面上の任意の視点から対象の撮像を行った場合の画像が生成可能であることを明らかとした。これはすなわち、レンズ面上の光線空間が再構成可能であるということであり、とくに、生成画像は撮像画像と同一の解像度を有することから、従来はトレードオフの関係にあった『視点』『解像度』をともに密とした光線空間が得られている。

これにより、本来は膨大な情報量を有する密な光線空間を、焦点ぼけ構造というコンパクトかつ、高速映像生成等も実現できる機能的な形式で表現することが可能となり、次項以降に示すような多様な展開を与えることができた。

本成果に基づく特許を出願し、研究期間のうちに取得も確定した。

焦点ぼけを含む撮像画像群

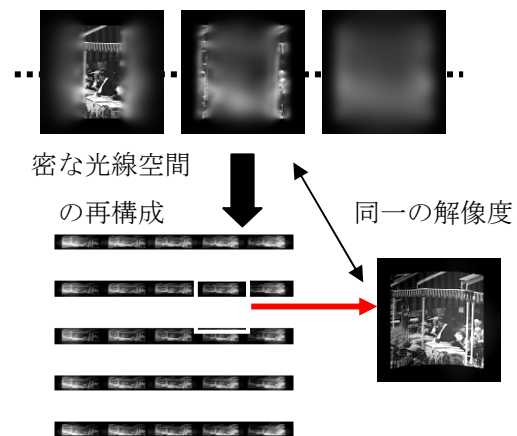


図3. 密な光線空間情報の取得

(2) 自由視点画像の高速生成

前項のように密な光線空間が取得できれば、その範囲の光線群の情報を用いて任意の仮想的な視点から対象シーンを撮影した画像、すなわち自由視点画像を生成可能である。この際、次元削減に基づく空間映像情報の圧縮変換により、とくにレンズ面上の任意の視点から対象を撮像した場合の画像を極めて高速に生成できることを示した。

実際に下図の通り、通常のデジタルカメラを用いて撮像した焦点ぼけ画像群から自由視点画像の生成を行い、そこから再構成された EPI (Epipolar Plane Image) により、適切な視差が安定に付与できていることを検証した。

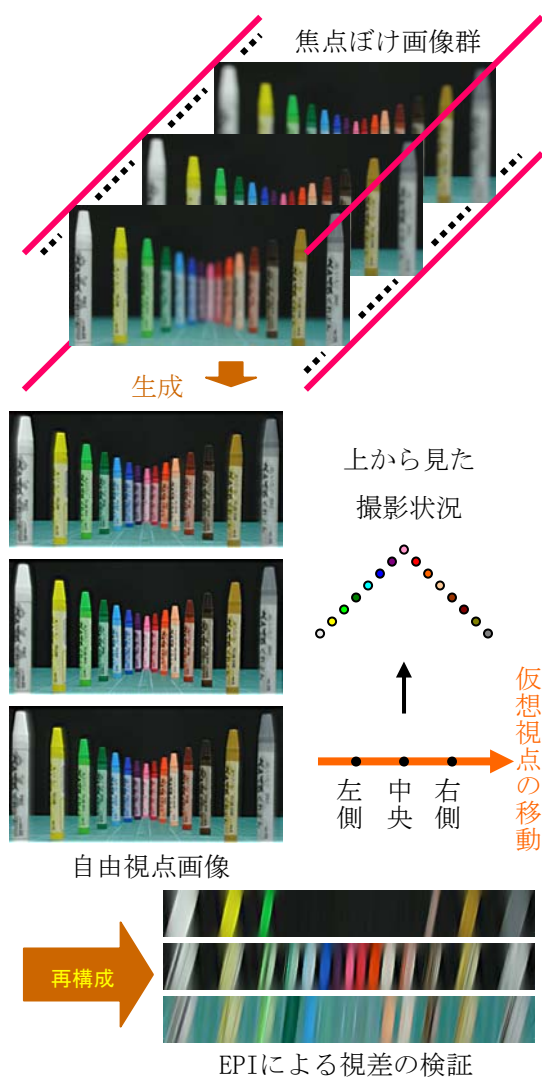


図4. 自由視点画像の生成

(3) ボケの強弱やボケ味の調整

上述の手法で取得されたレンズ面上に入射する光線群を重みをつけて再構成すれば、下図の通り、レンズ系を自在に変更した場合に相当する多様なボケ味を与えた画像が生成可能であることを明らかにした。これにより、単一のレンズ系のみで様々なレンズや絞りを仮想的に実現することができる。

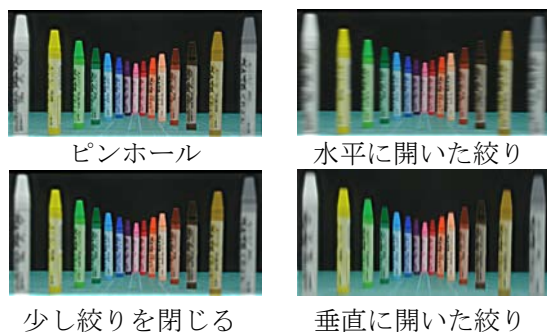


図5. 自在なボケの調整



図6. 一部拡大画像

(4) FPGA への実装によるシステム化

提案する映像生成手法を 100MHz 程度で動作する FPGA 上へ実装し、左下図のような 16 枚の 64x64 画素の画像から、2ms と極めて高速に右下図に示す自由視点画像が生成できることを明らかにした。対象画像を分割しこれを繰り返し適用することで、低コストにリアルタイムレベルの自由視点映像システム等が構築できることが実証された。

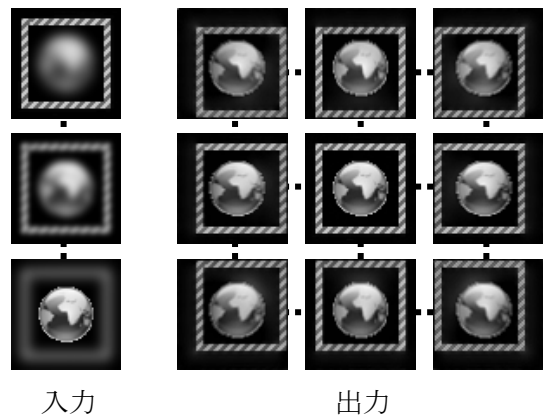


図7. FPGA 上での自由視点画像生成

5. 主な発表論文等

(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 8 件)

- ① FPGAに基づく焦点ぼけ構造からの実時間自由視点画像生成システムの検討, 伊澤逸平太, 児玉 和也, 浜本 隆之, 電子情報通信学会論文誌 J93-D(9) 2010 年 9 月 (採録済), 査読有
- ② 三次元焦点ぼけ構造からの効率的な自由視点画像生成, 欧 曦, 児玉 和也, 久保田 彰, 浜本 隆之, 電子情報通信学会論文誌 J91-D(12) 2854-2856 2008 年 12 月, 査読有
- ③ 多重フォーカス画像を用いたスマートイメージセンサによる距離計測, 池岡 宏, 柏山 英輝, 浜本 隆之, 児玉 和也, 映像情報メディア学会誌 62(3) 384-391 2008 年 3 月, 査読有
- ④ 次元削減に基づく焦点ぼけ画像群からの効率的な全焦点画像生成, 児玉 和也,

- 久保田 彰, 電子情報通信学会論文誌 J90-D(7) 1697-1699 2007 年 7 月, 査読有
- ⑤ 円形多眼画像からの逆フィルタによる中心視点画像の生成手法, 久保田 彰, 児玉 和也, 羽鳥 好律, 電子情報通信学会論文誌 J90-D(7) 1714-1715 2007 年 7 月, 査読有
- ⑥ 奥行推定を必要としない視点内挿手法とその安定性解析 -円周配置の多視点画像を用いた中心視点画像の生成-, 久保田 彰, 児玉 和也, 羽鳥 好律, 電子情報通信学会論文誌 J90-D(4) 1063-1072 2007 年 4 月, 査読有
- ⑦ Free Iris and Focus Image Generation by Merging Multiple Differently Focused Images, Kazuya Kodama and Akira Kubota, IEICE Trans. E90-D(1) 191-198 2007 年 1 月, 査読有
- ⑧ 3次元フィルタリングに基づく焦点合わせの異なる多数枚の画像群からの全焦点画像の生成, 児玉 和也, 久保田 彰, 映像情報メディア学会誌 60(7) 1077-1084 2006 年 7 月, 査読有

[学会発表] (計 4 2 件)

- ① Robust Reconstruction of Arbitrarily Deformed Bokeh from Ordinary Multiple Differently Focused Images, Kazuya Kodama, Ippeita Izawa, and Akira Kubota, IEEE International Conference on Image Processing 2010 (ICIP2010) 2010 年 9 月, Hong Kong (Accepted)
- ② A study on high-quality free viewpoint image reconstruction systems using multi-focus images by FPGA-based signal processing, Ippeita Izawa, Takayuki Hamamoto, and Kazuya Kodama, IEEE International Conference on Image Processing 2010 (ICIP2010) 2010 年 9 月, Hong Kong (Accepted)
- ③ Arbitrary Viewpoint Image Synthesis for Real-time Processing System Using Multiple Image Sensors, Hiroki SATO, Sho OGURA, Tadaaki HOSAKA, Akira KUBOTA, Ryutaro OI, Kazuya KODAMA, and Takayuki HAMAMOTO, 8th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry (VRCAI2009) 233-238 2009 年 12 月 15 日, Japan
- ④ Free Viewpoint Image Reconstruction from 3-D Multi-Focus Imaging Sequences and Its Implementation by GPU-based Computing, Ippeita IZAWA, Kazuya KODAMA, and Takayuki HAMAMOTO, 8th ACM

- SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry (VRCAI2009) 271-272 2009 年 12 月 14 日, Japan
- ⑤ Arbitrary viewpoint image synthesis on multi-layered scene using reconstruction filters, Keita SUZUKI, Hiroki SATO, Tadaaki HOSAKA, Akira KUBOTA, Ryutaro OI, Kazuya KODAMA, and Takayuki HAMAMOTO, 2009 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2009), TP1-D-2 375-378 2009 年 12 月 8 日, Japan
- ⑥ Free Viewpoint Image Reconstruction from 3-D Multi-Focus Imaging Sequences and Its implementation by FPGA-Based Processing, Ippeita IZAWA, Kazuya KODAMA, and Takayuki HAMAMOTO, IEEE International Conference on Signal and Image Processing Applications 2009 (ICSIPA2009) 415-418 2009 年 11 月 19 日, Malaysia
- ⑦ Free Viewpoint Image Reconstruction from 3-D Multi-Focus Imaging Sequences and Its Implementation by CELL-Based Computing, Hiroki Yonezawa, Kazuya Kodama, and Takayuki Hamamoto, International Workshop on Advanced Image Technology 2009 (IWAIT2009) 225-228 2009 年 1 月 13 日, Korea
- ⑧ Free Viewpoint Image Reconstruction from Multiple Differently Focused Images and Its Implementation by CELL-based Computing, Hiroki Yonezawa, Takayuki Hamamoto, and Kazuya Kodama, 7th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry (VRCAI2008) 2008 年 12 月 8 日, Singapore
- ⑨ Efficient Free Viewpoint Image Acquisition from Multiple Differently Focused Images, Xi Ou, Takayuki Hamamoto, Akira Kubota, and Kazuya Kodama, Visual Communications and Image Processing 2008 (VCIP 2008), SPIE Vol.6822-73 2008 年 1 月 29 日, USA
- ⑩ Image-Based Refocusing by 3D Filtering, Akira Kubota, Kazuya Kodama, and Yoshinori Hatori, 2007 Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT 2007), Lecture Notes in Computer Science 4872, Springer 385-398 2007 年 12 月 18 日, Chile
- ⑪ Efficient Free Viewpoint Image

- Reconstruction from Multi-focus Imaging Sequences based on Dimension Reduction, Xi Ou, Takayuki Hamamoto, and Kazuya Kodama, IEEE 2007 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2007) 152-155 2007年11月29日, China
- ⑫ Simple and Fast All-in-Focus Image Reconstruction based on Three-Dimensional/Two-Dimensional Transform and Filtering, Kazuya Kodama, Hiroshi Mo, and Akira Kubota, IEEE 2007 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2007) I 769-772 2007年4月17日, USA
- ⑬ View Interpolation by Inverse Filtering: Generating the Center View Using Multiview Images of Circular Array, Akira Kubota, Kazuya Kodama, and Yoshinori Hatori, Visual Communications and Image Processing 2007 (VCIP 2007), SPIE Vol. 6508-92 2007年1月30日, USA
- ⑭ High-Speed All-in-Focus Image Reconstruction by Merging Multiple Differently Focused Images, Kazuya Kodama, Hiroshi Mo, and Akira Kubota, Pacific-Rim Conference on Multimedia 2006 (PCM 2006), Lecture Notes in Computer Science 4261 909-918 2006年11月4日, China
- ⑮ Free Iris Scene Re-focusing based on a Three-Dimensional Filtering of Multiple Differently Focused Images, Kazuya Kodama, Hiroshi Mo, and Akira Kubota, IEEE 2006 International Conference on Image Processing (ICIP 2006) 2033-2036 2006年10月10日, USA
- ⑯ A Deconvolution Method for View Interpolation Using Multiple Images of Circular Camera Array, Akira Kubota, Kazuya Kodama, and Yoshinori Hatori, IEEE 2006 International Conference on Image Processing (ICIP 2006) 1049-1052 2006年10月9日, USA
- ⑰ Virtual Bokeh Generation from a Single System of Lenses, Kazuya Kodama, Hiroshi Mo, and Akira Kubota, ACM The 33rd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2006) (Research Poster 77) 2006年8月1日-2日, USA
- ⑱ Free Viewpoint, Iris and Focus Image Generation by Using a Three-Dimensional Filtering based on Frequency Analysis of Blurs, Kazuya

Kodama, Hiroshi Mo, and Akira Kubota, IEEE 2006 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2006) II 625-628 2006年5月17日, France

[産業財産権]
○取得状況 (計1件)

名称: 焦点ぼけ構造を用いたイメージング装置及びイメージング方法
発明者: 児玉 和也
権利者: 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構
種類: 特許
番号: 特許第 4437228 号
取得年月日: 平成 22 年 1 月 1 5 日
国内外の別: 国内

[その他]

- ① 高性能な画像コンテンツ構成の試み - 単一レンズ系からの多様なボケ味の生成, 0 plus E, Vol. 28, No. 11, p. 1103, 2006-11
- ② 「モデル」なし映像表現への挑戦, 情報通信ジャーナル, Vol. 26, No. 5, pp. 44-45, 2008-5
- ③ 視点を変えた「見え方」を再現する, NII Today, No. 42, pp. 6-7, 2008-12

6. 研究組織

(1) 研究代表者

児玉 和也 (KODAMA KAZUYA)
国立情報学研究所・コンテンツ科学研究系・准教授
研究者番号: 80321579

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし