

平成 30 年 6 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12023

研究課題名（和文）画像処理諸分野の精度限界を打破する超汎用メディア横断型基底の導出理論構築

研究課題名（英文）Construction of a theory deriving super-versatility cross-media bases for breaking limitations in various image processing fields

研究代表者

長谷山 美紀（HASEYAMA, Miki）

北海道大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：00218463

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、画像の符号化、復元、認識、検索・推薦等の画像処理諸分野における精度限界を打破する超汎用メディア横断型基底の導出理論を構築した。具体的に、画像とその撮像内容を表すデータの両者を統合的に解析することで、画像の各々の領域に対する意味理解を実現し、同時にその最適な近似を与える基底を導出した。本研究で導出するメディア横断型の基底は、高い汎用性を備えるため、画像処理の様々な分野への応用が可能であり、それらの精度向上が期待できる。したがって、本研究では、得られるメディア横断型基底を広い応用分野に適用することで、各分野においてブレイクスルーを与えることが可能であることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This study constructed a new theory for deriving super-versatility cross-media bases to break limitations in various research fields related to image processing such as image coding, restoration, recognition, retrieval and recommendation, etc. Specifically, by collaboratively analyzing both of image data and their corresponding semantic information, semantic analysis of each area in images was realized to simultaneously derive new bases for their optimal approximation. Since these bases included high versatilities, they could be applied to various kinds of research fields related to image processing, and the performance improvement were realized. Therefore, in this study, we actually confirmed that our new approach provided breakthroughs for each research field by using the derived cross-media bases.

研究分野：画像処理

キーワード：マルチメディア情報処理

## 1. 研究開始当初の背景

これまで、画像を近似する基底を求める様々な研究が実施され、符号化や復元等の分野において大きく貢献した。しかしながら、これらは主に画像信号のみを用いており、画像中の撮像物体やその状況を表す「撮像内容」に注目して画像を最適に近似する基底の導出には至っていなかった。画像信号だけでなく「撮像内容」を統合的に用いれば、精度向上が期待できるが、極めて異なる信号間の関連性を求める必要があり、その実現は困難であった。この問題を解決する理論体系が構築されれば、「撮像内容」に対応する画像中の領域が求められ、それらに最適な基底の導出が可能となる。すなわち、画像の近似と同時に「撮像内容」の意味理解を実現する基底が導出され、符号化や復元だけでなく、認識や検索・推薦等の画像処理諸分野における精度を一斉に向上させることが可能となる。研究代表者は、このブレークスルーを与える基底導出理論の構築を本研究の位置付けとした。

研究代表者らはこれまでに、異種メディア横断型検索理論を構築し、画像や映像、音楽、その他のデータ間で互いの関連性を求めることを可能とした。また、近年では、SNS (Social Networking Service) が急速に普及・発展し、高次メタデータ (ソーシャルタグ、名称・位置・時刻情報等) を付与した画像が爆発的に増加している。これらの高次メタデータは、画像中の「撮像内容」について詳細を記述しており、それらの間には高い関連性がある。以上より、研究代表者は自身の研究で得た「異種メディア間の高い関連性」に関する知見を踏まえ、「撮像内容」に注目して画像とメタデータ間の関連性を求めれば、「撮像内容」に関する意味理解が可能となり、同時に画像の近似も可能とする基底の導出が実現できるとの着想に至った。

## 2. 研究の目的

本研究では、図1に示されるように、画像の符号化、復元、認識、検索・推薦等の画像処理諸分野における精度限界を打破する超汎用メディア横断型基底の導出理論の構築を目指している。具体的に、画像とその「撮像内容」を表すデータの両者を統合的に解析することで、画像の各々の領域に対する意味理解を実現し、同時にその最適な近似を与える基底を導出する。また、本研究で導出されるメディア横断型の基底は、高い汎用性を備えるため、画像処理諸分野への応用が可能であり、それらの精度向上が期待できる。

図1に示される通り、画像中の「撮像内容」を詳細に記述する高次メタデータの活用により、画像の近似だけでなく意味理解も可能とするメディア横断型基底の導出を目指す。近年の SNS の普及により、ソーシャルタグや、名称・位置・時刻情報等、「撮像内容」

を詳細に記述する高次メタデータが画像に対して積極的に付与される環境が構築された。人間の知識や客観的な事実から付与される上記メタデータを基底として変換し、「撮像内容」の高精度な近似と意味理解を試みるアプローチは、極めて斬新なアイデアであり、これまでにない独創的な研究である。

従来より、画像の符号化、復元、認識、検索・推薦等の分野では、直交変換や部分空間法等、基底の導出によって実現される研究が数多く提案されている。また、これらの研究における精度は、導出される基底に大きく依存する。本研究で導出される画像の近似と意味理解を同時に実現するメディア横断型基底は、「撮像内容」に注目しながら、最適に画像を近似できることから、画像処理諸分野に対して超汎用的に応用可能であり、広範な分野でその精度向上が期待できる。さらに、本研究の目標の達成により、画像だけでなく、音楽・音響・映像処理を含むマルチメディア信号処理の広い分野において卓越した成果の創出が期待できる。

## 3. 研究の方法

本研究では、画像処理諸分野において精度限界を打破する超汎用メディア横断型基底導出理論を構築した。具体的には、平成27年度に、「メディア横断型基底の導出」理論を構築し、平成28年度以降は、非線形処理の導入によって高精度に画像を近似する「メディア横断型基底の高度化」およびその工学的応用による「画像処理諸分野の精度限界の向上」を進めた。このとき、本研究の円滑な遂行のため、研究代表者らが既に開発した「異種メディア統合解析理論」及び「非線形基底導出理論」等を活用し、早期に成果を創出した。また、異種メディア統合解析理論、特徴解析・検索理論、基底導出理論を専門とする研究代表者だけでなく、画像再構成理論及びマルチメディア処理に高い専門性を有する分担者を加え、理論構築から工学的応用へ迅速に移行した。

本研究では図1に示される通り、研究期間内に、

### 【フェーズ1】

異種メディアの統合解析によるメディア横断型基底の導出

### 【フェーズ2】

非線形処理を導入したメディア横断型基底の高度化

### 【フェーズ3】

メディア横断型基底の工学的応用による画像処理諸分野の精度限界の向上

を目指し、研究を実施した。

研究代表者の長谷山は、異種メディア統合解析理論、特徴解析・検索理論、基底導出理論の構築を担当した。さらに、符号化、復元、認識、検索・推薦の分野に対する本研究の工学的応用を円滑に実施し、かつ早期に成果を

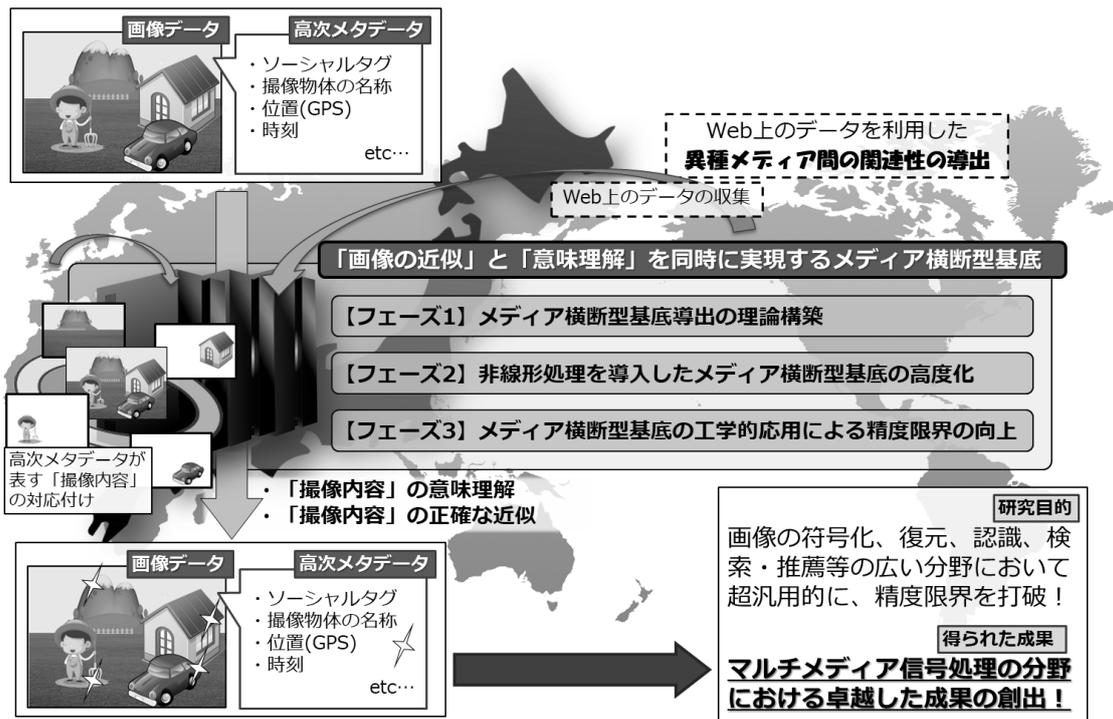


図1 高精度な画像復元を可能とするメディア横断型基底導出理論の構築の概要と研究の斬新性・チャレンジ性

創出するため、研究分担者の小川が、画像再構成理論、マルチメディア処理を中心として研究を行った。

#### 4. 研究成果

以下では、研究の方法に示した3つのフェーズにおいて得られた研究成果について、それぞれ説明を行う。

##### 【フェーズ1】「異種メディアの統合解析によるメディア横断型基底の導出」

平成27年度は、「メディア横断型基底の導出」に関する理論を構築した。

● Web データを用いた異種メディア統合解析による画像中の「撮像内容」と高次メタデータの対応付け：

Web 上より、「撮像内容」を表す高次メタデータが付与された画像を収集し、高次メタデータと画像信号の相関分析に基づく異種メディア統合解析によって、各々の高次メタデータに対応する画像中の「撮像内容」を推定可能とした。これにより、画像中の各領域に対する意味理解が可能となった。具体的に、これらの解析手法を応用した Web 画像の意味理解手法を構築することで、従来よりも高精度に認識を行うことが可能となる手法を実現した [42]。本手法は、非常に高い精度を実現していることから、その有効性が認められ、1st Prize IEEE GCCE 2016 Excellent Poster Award を受賞している。

● 「撮像内容」の高精度な近似を可能とするメディア横断型基底導出法の実現：

上記対応付けの結果に基づき、画像中の「撮像内容」、すなわち、意味理解が可能となっ

た画像中の各領域に対して高精度な近似を可能とするメディア横断型基底の導出を行った。

上記2点の項目を実施することで、「撮像内容」に注目した意味理解と同時に画像の近似も可能とする基底の学習アルゴリズムを新たに提案し、「メディア横断型基底」の導出を行った。

平成28年度以降は、平成27年度までに構築されたメディア横断型基底の導出理論に対して、非線形処理を導入した高度化を行った。さらに、高度化されたメディア横断型基底を画像処理諸分野に応用し、各分野における精度限界の向上を目指した。

##### 【フェーズ2】非線形処理の導入によるメディア横断型基底の高度化

具体的に、平成28年度は、視覚的に高精度な画像の近似を実現するため、メディア横断型基底へ非線形処理を導入し、その高度化を図った。これらの高度化により得られる基底を画像の超解像等の複数のアプリケーションに利用することで、高精度な画像の近似が可能となることが確認され、その成果が IEEE Transactions on Image Processing に掲載されている [7]。具体的に、画像に対して複数の部分空間を構築するとともに、対象のアプリケーションの問題を複数の部分問題に置き換えることで、高精度な画像再構成を可能とする手法を実現している。本手法では、主成分分析、カーネル主成分分析、スパース表現等、複数の多変量解析手法により与えられる基底に基づく部分空間を用いた全ての場合に

において、画像再構成の精度向上が可能となることが確認されている。また、アプリケーションとしてインペインティングと超解像を行った際に、最新の研究成果と比較して高精度な再構成結果が得られることを報告した。

### **【フェーズ3】メディア横断型基底の工学的応用による画像処理諸分野の精度限界の向上**

前年度までに、画像中の「撮像内容」、すなわち、意味理解が可能となった画像中の各領域に対して高精度な近似を可能とするメディア横断型基底の導出を行ってきた。平成29年度は、これまでの画像符号化・復元で、画像の近似に用いられた基底を、本研究で構築されるメディア横断型基底に置き換えることで、各分野においてその精度限界の向上が可能となることを示した。また、メディア横断型基底は、意味理解を同時に実現する基底であるため、これを用いることで画像中の「撮像内容」の推定が可能となり、画像認識、検索・推薦の分野においても、その精度限界の向上を実現した。画像の符号化、復元、認識、検索・推薦等の分野では、直交交換や部分空間法等、基底の導出によって実現される研究が数多く提案されている。また、これらの研究における精度は、導出される基底に大きく依存する。本研究で導出される画像の近似と意味理解を同時に実現するメディア横断型基底は、「撮像内容」に注目しながら、最適に画像を近似できることから、広い分野に対して超汎用に応用可能であり、その精度向上が得られた。また、以上の研究成果に加え、本研究の開始当初に想定した以上の成果が得られている。具体的に、以下にその成果について報告する。

- 画像復元の精度予測 [5] : 部分空間に基づいた画像の再構成において、画像に劣化が生じる前と後で、同様に再構成の困難さを予測することが可能な指標の導出を可能とした。これにより、画像内で重要な領域の推定を可能にするだけでなく、劣化画像の復元においても、その復元の困難さを事前に予測することが可能な理論が導出された。
- 映像の関心度推定 [1,3,10,19,24,28] : 映像とそれらを視聴するユーザの視聴行動や付与されたラベルから、それらの関連性を最大にする変換を与える基底の導出を可能にした。これにより、映像データから、個々のユーザの好みを表現可能な特徴量の抽出が可能となり、高精度な映像推薦が可能になった。また、これらの手法における視聴行動を、映像閲覧時の脳活動情報に置き換えることで、高精度な映像推薦や分類を可能にする手法も実現している[13,17,21,26]。
- Web 画像の可視化[4] : Web 上に存在する画像とテキストに対して、互いの相関を最大にししながら、異なる内容を含む画

像間の分離度も向上させる基底の導出を行った。この手法により得られる低次元の部分空間へ射影を行うことで、大量のWeb 画像の効果的な可視化を行うことが可能となった。

本研究では、画像だけでなく、音楽・音響・映像を含むマルチメディア信号処理の広い分野において成果の創出が可能になり、諸分野においてブレークスルーが与えられることを明らかにした [15,16,20,25]。上記に示した成果は、IEEE Access や IEICE Transactions on Information and Systems 等の論文誌、IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP) や IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)等の国際会議を中心に報告を行っている。

### **5. 主な発表論文等**

[雑誌論文] (計 7 件)

1. Yoshiki Ito, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Accurate Estimation of Personalized Video Preference Using Multiple Users' Viewing Behavior," IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, vol. E101-D, no. 2, pp. 481-490 (2018)
2. Yuma Sasaka, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "A Novel Framework for Estimating Viewer Interest by Unsupervised Multimodal Anomaly Detection," IEEE Access, 査読有, vol. 1, no. 6, pp. 8340-8350 (2018)
3. Takahiro Ogawa, Yoshiaki Yamaguchi, Satoshi Asamizu, Miki Haseyama: "Human-Centered Video Feature Selection via mRMR-SCMMCCA for Preference Extraction," IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, vol. E100-D, no. 2, pp. 409-412 (2017)
4. Kohei Tateno, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Visualizing Web Images Using Fisher Discriminant Locality Preserving Canonical Correlation Analysis," IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, vol. E100-D, no. 9, pp. 2005-2016 (2017)
5. Takahiro Ogawa, Akira Tanaka, Miki Haseyama: "Wiener-based Inpainting Quality Prediction," IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有, vol. E100-D, no. 10, pp. 2614-2626 (2017)
6. 齊藤直輝, 小川貴弘, 浅水仁, 長谷山美紀: "画像共有サービスに投稿される画像の観光名所に関するカテゴリ分類," 電子情報通信学会論文誌 D, 査読有, vol. J99-D, no. 9, pp. 848-860 (2016)
7. Takahiro Ogawa, Miki Haseyama:

"Adaptive Subspace-Based Inverse Projections via Division Into Multiple Sub-Problems for Missing Image Data Restoration," IEEE Transactions on Image Processing, 査読有, vol. 25, no. 12, pp. 5971-5986 (2016)

[学会発表] (計 36 件)

8. 佐坂勇磨, 小川貴弘, 長谷山美紀: "作業員から取得されるセンシングデータを用いた熱中症の予兆検知に向けた検討," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 42, no. 4, pp. 327-331 (2018)
9. 菅田健斗, 小川貴弘, 長谷山美紀, タキケン, 工藤興亮, 白土博樹: "機械学習を用いたMR画像からの転移性脳腫瘍の分類に関する一検討," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 42, no. 4, pp. 311-314 (2018)
10. 伊藤良起, 小川貴弘, 長谷山美紀: "SFEM-GSによる特徴統合を利用した映像の評価値推定の高精度化," 映像情報メディア学会, vol. 42, no. 4, pp. 315-318 (2018)
11. 弦間奨, 小川貴弘, 長谷山美紀: "LRGAアルゴリズムを用いた昆虫同定のための類似画像検索に関する検討ーデータ拡張による検索精度向上の検証ー," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 42, no. 4, pp. 167-171 (2018)
12. 斉藤直輝, 小川貴弘, 浅水仁, 長谷山美紀: "深層学習を用いた画像共有サービスに投稿される観光画像のカテゴリ分類の高精度化に関する検討," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 42, no. 4, pp. 161-165 (2018)
13. Akira Toyoda, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Favorite Image Estimation: EEG-based Extraction of Visual Features Reflecting Individual Preference," International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), pp. 2A-3 (2017)
14. Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Exemplar-Based Image Completion via New Quality Measure Based on Phaseless Texture Features," IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), pp. 1827-1831 (2017)
15. 松本有衣, 原川良介, 小川貴弘, 長谷山美紀: "異種特徴の関連性を活用したネットワーク解析に基づく音楽動画コンテンツの推薦に関する一検討ーユーザの好みを反映可能とする特徴変換による高精度化ー," 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, pp. 162-163 (2017)
16. 段博瀟, 小川貴弘, 長谷山美紀: "音響特徴と心拍特徴を用いた楽曲聴取時のユーザに誘起される感情の推定の高精度化に関する検討," 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, p. 106-107 (2017)
17. 豊田陽, 小川貴弘, 長谷山美紀: "fNIRS信号を利用した好みの映像識別に関する検討ー特徴量選択の導入による高精度化ー," 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, pp. 110-111 (2017)
18. 金井美岬, 藤後廉, 小川貴弘, 長谷山美紀: "敵対的学習により生成された画像が与える審美的印象に関する検討," 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, pp. 168-169 (2017)
19. 九島哲哉, 高橋翔, 小川貴弘, 長谷山美紀: "ランク最小化に基づく行列補完を用いた関心度推定の高精度化に関する検討," 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, pp. 164-165 (2017)
20. 滝村祥司, 原川良介, 小川貴弘, 長谷山美紀: "適応的フィールド構成を導入した FFM に基づくツイート推薦の高精度化に関する検討," 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, pp. 160-161 (2017)
21. 堀井風葉, 前田圭介, 小川貴弘, 長谷山美紀: "画像特徴量と fNIRS 特徴量の関連性に注目した画像分類の高精度化に関する検討," 平成 29 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, pp. 114-115 (2017)
22. Akira Toyoda, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "MvLFDA-based Video Preference Estimation Using Complementary Properties of Features," IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp. 635-639 (2017)
23. Shota Hamano, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Tag Refinement Based on Multilingual Tag Hierarchies Extracted from Image Folksonomy," IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pp. 1327-1331 (2017)
24. Yoshiki Ito, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Preference Estimation for Video Recommendation Using DCNN Features and Viewing Behavior," IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 295-296 (2017)
25. Yui Matsumoto, Ryosuke Harakawa, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Construction of Network Using Heterogeneous Social Metadata for Music Video Recommendation," IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 316-317 (2017)
26. Kazaha Horii, Keisuke Maeda, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Image Classification for Trend Prediction Based on Integration of fNIRS and Visual Features," IEEE Global Conference on Consumer

- Electronics (GCCE), pp. 301-302 (2017)
27. Shoji Takimura, Ryosuke Harakawa, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Personalized Tweet Recommendation Based on Field-aware Factorization Machines with Adaptive Field Organization," IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 260-261 (2017)
  28. Tetsuya Kushima, Sho Takahashi, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Interest Level Estimation Based on Matrix Completion via Rank Minimization," IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 299-300 (2017)
  29. Misaki Kanai, Ren Togo, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Aesthetic Quality Assessment of Images via Supervised Locality Preserving CCA," IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 258-259 (2017)
  30. Akira Toyoda, Takahiro Ogawa, Miki Haseyama: "Video Preference Estimation Using fNIRS Signals," IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 297-298 (2017)
  31. 濱野翔太, 小川貴弘, 長谷山美紀: "タグ付き画像を用いたコンセプト間の関係抽出の高精度化に関する検討," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 41, no. 5, pp. 67-70 (2017)
  32. 田中佑磨, 小川貴弘, 長谷山美紀: "音響特徴量および fMRI 特徴量の協調利用による目的音検出に関する検討," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 41, no. 5, pp. 59-62 (2017)
  33. 竹原大智, 原川良介, 小川貴弘, 長谷山美紀: "Web 映像集合の階層構造を用いた検索法に関する検討 ~可視化インタフェースを通じた有効性評価~, " 映像情報メディア学会技術報告, vol. 41, no. 5, pp. 63-66 (2017)
  34. 田中佑磨, 小川貴弘, 長谷山美紀: "パワースペクトルに注目した音響信号のスパース表現の定量評価," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 40, no. 6, pp. 217-220 (2016)
  35. 澤田充奨, 小川貴弘, 長谷山美紀: "ヒトの楽曲聴取時の脳機能画像における賦活部位の抽出に関する検討," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 40, no. 6, pp. 213-216 (2016)
  36. Naoki Saito, Takahiro Ogawa, Satoshi Asamizu, Miki Haseyama: "A Confidence-aware Method for User Activity Genre Classification Based on Heterogeneous Features from Image Sharing Services," International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), pp. P.1C-8 (2016)
  37. 豊田陽, 小川貴弘, 長谷山美紀: "画像注視時のユーザの脳波信号を利用した好みの画像の識別に関する検討," 平成 28 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, pp. 151-152 (2016)
  38. 段博瀟, 小川貴弘, 長谷山美紀: "音響特徴と心拍特徴を用いた感情推定に基づく楽曲分類に関する検討 -Decision-Level Fusion による高精度化-, " 平成 28 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, pp. 139-140 (2016)
  39. 佐坂勇磨, 小川貴弘, 長谷山美紀: "顔器官の動きと生体信号を協調的に用いた関心の度合いの推定に関する検討," 第 19 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU), pp. PS3-16 (2016)
  40. 齊藤直輝, 小川貴弘, 浅水仁, 長谷山美紀: "複数の特徴を用いた観光画像の分類における正確な分類結果の推定方法の導入に関する検討," 第 19 回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU), pp. PS3-34 (2016)
  41. 田中佑磨, 小川貴弘, 長谷山美紀: "音響聴取時の脳活動信号を用いた目的音検出に関する検討," 映像情報メディア学会技術報告, vol. 40, no. 28, pp. 81-82 (2016)
  42. Naoki Saito, Takahiro Ogawa, Satoshi Asamizu, Miki Haseyama: "A Tourism Category Classification Method Based on Estimation of Reliable Decision," IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp. 52-53 (2016)
  43. 齊藤直輝, 小川貴弘, 浅水仁, 長谷山美紀: "画像共有サービスにおける投稿画像の分類結果の信頼度推定に関する検討," 電気・情報関係学会北海道支部連合大会 講演論文集, p. 128 (2015)
- [その他]  
ホームページ等  
北海道大学大学院情報科学研究科メディアダイナミクス研究室 HP  
<https://www-lmd.ist.hokudai.ac.jp/>
6. 研究組織  
(1)研究代表者  
長谷山 美紀 (HASEYAMA, Miki)  
北海道大学・大学院情報科学研究科・教授  
研究者番号：00218463
- (2)研究分担者  
小川 貴弘 (OGAWA, Takahiro)  
北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号：20524028