

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：62615

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23240021

研究課題名(和文)統計的信号処理と音楽理論を融合する多面的音楽処理の研究

研究課題名(英文)Versatile music processing by combining statistical signal processing and music theory

研究代表者

嵯峨山 茂樹(Sagayama, Shigeki)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・特任教授

研究者番号：00303321

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 29,800,000円、(間接経費) 8,940,000円

研究成果の概要(和文)：統計的信号処理と音楽理論の数理モデルを融合して、音楽(および音響・音声)の信号処理と情報処理に多面的に取り組んだ。音声認識分野では音響処理と言語処理の融合がキー技術であったように、音楽においては信号処理と音楽理論の融合が必須である。具体的には、A: 数理モデルと統計学習を軸にした音楽信号の解析・変換・加工・分離・検出、B: 音楽理論の数理的定式化を軸にした音楽信号の和音認識・リズム解析・セグメンテーション・構造解析・ジャンル認識、C: 機械学習と最適化を軸にした自動演奏・自動作曲・自動伴奏・自動編曲などを研究・開発した。

研究成果の概要(英文)：We investigated signal and information processing of music, acoustic and speech by integrating statistical signal processing and mathematical models of music theory. Just as integration of acoustic and linguistic processing was the key technology in speech recognition, integrating signal processing and music theory is essential in music processing. More precisely, we developed A: analysis, conversion, separation and detection of music signals based on mathematical models and statistical learning, B: chord recognition, rhythm analysis, segmentation, structural analysis, genre recognition based on mathematical formulation of music theory, and C: automatic music rendering, automatic music composition, automatic music accompaniment and automatic music arrangement based on machine learning and mathematical optimization.

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：音楽信号処理 音楽情報処理 楽音分離 自動作曲 自動伴奏 ジャンル認識 リズム解析 自動編曲

1. 研究開始当初の背景

(1) **世界動向**: 今世紀に入ってから音楽処理(信号処理・情報処理)の研究が世界的に急展開し、研究予算も増え続けている。背景には、デジタル音楽環境(iPodなど)の普及、webベースや携帯端末での音楽配信、コンテンツベースの音楽検索への要求と期待とがある。

国際会議も極めて活発化している。音楽情報検索関連の国際会議 ISMIRをはじめ、音楽関連の SMC, ICMC, ICMP, MCM や要素技術評価のコンテスト MIREX が国際競争を促している。大規模な学会としては、IEEE 信号処理部門(Signal Processing Society)でも、特集論文や ICASSP (International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing)の特別セッションなどが実現し、本研究代表者(嵯峨山)は Audio & Acoustics Technical Committee 委員を務めるなど、音楽の比重が増している。信号処理、マルチメディア、統計学習に関連した会議では、NIPS, IJCAI, MLSP, MMSP, ICME, Interspeech, WASPAA などでも音楽が占める割合が増して来ていた。

(2) **国内動向**: 日本は、かねてより音響楽器・電子楽器製造、オーディオ機器、デジタル音楽規格や機器製造、また音楽コンクールでの活躍やアジアへのポップス音楽浸透など、音楽では多面的に世界の音楽産業をリードし、大きな影響力と市場を持つ。それに見合う音楽の情報科学的・工学的研究の貢献が必要である。

幸い、日本でも音楽情報処理の研究分野は急成長中の分野の一つである。2005~2010年には、CRESTのメディア芸術領域で「時系列メディアのデザイン転写技術の開発」(代表: 片寄晴弘)が採択され、当研究グループを含む日本の音楽情報処理研究の五大拠点が協力して多大な成果を挙げた。他の研究グループとしては、企業(ヤマハ、KORG、カシオ、ローランドなど)の開発部門の他にも、大学などで音楽に向けた関心や活動が急速に高まっていた。

2. 研究の目的

統計的信号処理と音楽理論の数理モデルの融合を目的として、音楽(および音響・音声)の信号処理と情報処理に多面的に取り組んだ。音声認識分野では音響処理と言語処理の融合がキー技術であったように、音楽においては信号処理と音楽理論の融合が必須である。具体的には、A: 数理モデルと統計学習を軸にした音楽信号の解析・変換・加工・分離・検出、B: 音楽理論の数理的定式化を軸にした音楽信号の和音認識・リズム解析・セグメンテーション・構造解析・ジャンル認識、C: 機械学習と最適化を軸にした自動演奏・自動作曲・自動伴奏などを研究・開発した。

3. 研究の方法

本研究は、統計的信号処理、音楽理論の確率モデル化などを中心に据えた数理的アプローチにより、音楽信号及び音楽情報の解析・認識・加工・生成に関する広汎な技術を開発するものであった。主にコンピュータ上のアルゴリズムの追求であるが、実際の音楽を音響信号・演奏情報(MIDI データ)・楽譜・指づかいなどの形で扱った。

研究代表者らとともに常時十数名の大学院生と、企業の共同研究者と海外の協力研究者がこれらの分野に取り組み、研究を進めた。国内では、東京大学メンバーを中心に、国立情報学研究所、NTT、桐朋学園大学、亜細亜大学、千葉大学らのメンバーと共同で研究を進め、また、世界のトップレベルの研究者を数名短期招聘するなどの積極的な交流も行い、世界へ発信した。折からフランス政府の予算の共同研究 Versamus Project の日本側パートナーとなり、仏 INRIA と相互滞在 10 名を含む共同研究を行った。(詳細は、<http://versamus.inria.fr/> にて報告)

学術発表(海外では ICASSP, ISMIR, SMC, NIPS, ICMC, MLSP, Interspeech, WASPAA, SAPA など; 国内では情報処理学会、音響学会、電子情報通信学会など)、特許、ソフトウェア公開、MIREX コンテスト参加、発表会や展覧会、マスメディア(TV等)など、多面的に成果を発信し反応を得た。

成果の実用化については関連産業と連携して検討した(製品化には至っていない)。また、自動作曲を一般向け web サービスによって提供した。自動演奏・自動伴奏などの成果もソフトウェア化を進めた(一般提供を検討中)。

4. 研究成果

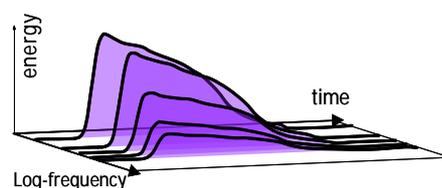
以下のような多数の研究成果を得た。[]内は、それに寄与した研究者名・学生名である。

(1) 多重音解析

多くの音楽は多声(polyphonic)であり、自動採譜・分離・加工には多重音の推定が不可欠である。

混合ガウスモデル(GMM)による音符分解

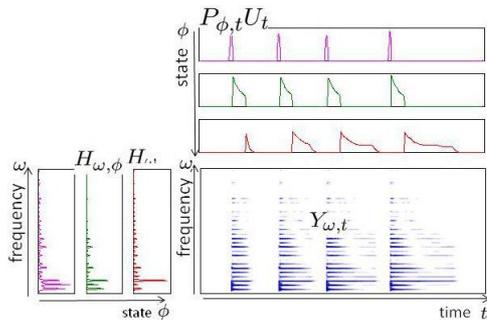
我々の HTC (調波・時間構造化クラスタリング) にアタック部分のモデルを加え、調波モデル拘束を緩和して下図のような単音のエネルギー分布パターンの混合ガウスモデルと EM アルゴリズムによる学習を用いて各音の発音時刻と基本周波数を推定する手法を開発し、多重音解析精度が向上した。[呉、亀岡] (INRIA, NTT と共同)



非負行列分解(NMF)理論による多重音の

解析・分解

音楽信号から観測したスペクトログラムを行列とみなし、これを非負成分のみの行列の積に近似分解する NMF の手法が音楽に導入 (Smaragdis 2003)されて以来、激しい手法開拓競争があり、我々は調波拘束(各音は倍音構造を持つ)、音色類似拘束(隣り合ったピッチの倍音構造は近い)、スパースネス仮定(音符の数はなるべく少なく)などの拘束項を加えた。単音中に打撃・継続・終了など非定常音を表現する多状態 NMF(下図)、ピブラートなどの変動ピッチ音 NMF、状態数を自動決定する無限状態 NMF などへ拡張した。[落合、田沼、亀岡、Vincent] (NTT と共同)



音高・音長・和声・和声・調・音楽理論のDBNモデル化と自動採譜

音楽信号の観測から音楽理論までを統合した多階層を Dynamic Bayesian Net でモデル化し、学習し、事後確率最大の原理による自動採譜技術を開発した。[Vincent, Raczynski] (INRIA と共同)

(2) 楽音分離加工

調波音と打楽器音の分離・強調と、多解像度スペクトル分析

音楽信号のスペクトログラムでは、音程(正確には「音高」)のある持続的な調波音は倍音構造を伴う縞状の水平線、瞬時的な打楽器音は縦長の垂直線として現れる。我々はこれらを分離する技術 HPSS を開発したが、それを一般化して、様々な時間・周波数解像度により新概念「解像度スペクトル」による信号解析手法を開発した。[橋] (INRIA との共同研究)

歌唱の抽出・消去・検出、旋律追跡

歌唱は不可避な揺らぎ成分のために中間的な解像度で抽出できるとの発見から、歌唱を消去する即席カラオケ、背景音から歌唱旋律を追跡して歌唱曲の認識に応用した。そのような処理システム Euterpe を開発した。[橋, Espi]

音声区間検出 (VAD: Voice Activity Detection)

上記特徴量に多種の音声特徴を組み合わせ、背景雑音に頑健な新しい音声検出手法 (VAD)を開発し、国際コンテスト MIREX で高い評点を得た。[橋, Espi]

パワースペクトログラムからの無矛盾位相復元によるテンポ変換、ピッチ変換、声質変換

パワースペクトルは位相情報を失ってい

て波形が復元できないのが常識だが、窓を重ねた短時間スペクトル分析からは、重畳部分に基づいて逐次位相回復できる。これを用いて、複数楽器の音楽信号テンポ加工やピッチ変換が行い、さらにスペクトル包絡を保存したピッチ変換を組み合わせる手法を開発した。[水野、鈴木]

(3) 和声モデル

機能และ声ラベルデータベースの構築

機能และ声はクラシックからポップスまで音楽の(意識せずとも)基本構造である。作曲家で和声学教師の金子のグループが高度な専門知識で RWC データベースに機能และ声ラベル付けした。作成した機能และ声ラベルデータベースから、音楽理論に頻度や確率を付与した「計量音楽学」の学問分野のさきがけを作った。和音種別、和声進行、転調の定量的な和声規則抽出と時代特徴を発見した。[金子] (桐朋学園大学と共同)

(4) リズムモデル

リズムの文法の解明と解析アルゴリズムと自動採譜への応用

多声部のリズムの重畳を 2 次元(時間方向連鎖・和音方向同期)の文法でモデル化し、与えられた各音の開始時刻と音長から音符の音価をパーサにより推定した。多声部のリズムの重畳を 2 次元の文法でモデル化し、与えられた各音の開始時刻と音長から音符の音価をパーサにより推定する手法を開発した。[土屋、高宗]

(5) 音楽認識

音楽信号の構造解析

音楽信号を自動セグメンテーションし、曲全体の構造を自動把握し、音楽学者に有用な情報を抽出した。VERSAMUS project の一環として、INRIA の METISS グループの博士課程学生を指導して、文法理論(文脈自由文法)に基づく曲構造の解析を目指した。また、高速の動的計画法を提案して楽曲の構造解析を行った。[Bimbo, Sargent, 蔵] (INRIA と共同)

作曲家認識

音楽学における Style Analysis の各種の(主観的)特徴に対応する客観的な統計量を定義して、判別分析により作曲家認識と解析を行った。[長谷川、武内、Tzanetakis] (Victoria 大と共同)

(6) 自動作曲

日本語歌詞からの自動作曲における多様性の拡大

当研究室の自動作曲システム Orpheus ver2 は Web サービスや TV での紹介を通して広く知られたが、制約が多かった。これに加えて、上げ拍開始、二重唱、和声、歌声、リズム構造、ドラムパターン、伴奏パターンなどの多様性を大幅に増すことで、多様な名曲が作れるようになった。Web での自動作曲実験は、延べ 20 万曲が作曲され、延べ閲覧数は 200 万回を超えた。[深山、桐淵]

音楽の数理モデルによる和声学および対

位法

統計的手法によるバッハ風の器楽曲の自動作曲を行った。[田中]

中国語歌詞の自動作曲

中国語四声を活かした自動作曲を実現した。[秦]

(7) 演奏モデル

自動演奏

与えられたピアノ楽譜を人間のかつ芸術的に演奏する技術を確立した。和音中の各音の相違の再現がキーアイデアである。各音符の発音時刻、音長、強さの制御を、楽譜中の当該音の環境から推定する CRF(条件付き確率場)でモデル化し、実際のピアニストの演奏の楽譜からの deviation data によりモデルを学習し、自動演奏する手法を開拓し、国際コンテストで優勝した。この手法を、Springer 社の専門書の一章として執筆した。[金、鈴木]

ギターの自動運指(指遣い)決定

ギターは制約が多く、かつ多様な運指可能性がある。左手のフレット位置と手の形を「隠れ状態」とし、右手で弦をはじくことを状態出力として隠れマルコフモデル(HMM)によりギター演奏を確率モデル化できる。優れたギタリストによる運指のデータでモデル学習がなされれば、与えられたギター譜から、それを出力とする状態遷移を Viterbi アルゴリズムにより推定することにより、そのギタリストが行いそうな最も確率が高い運指を得ることができた。[堀、吉永]

音符長伸縮の確率モデルと、MIDI 信号と楽譜の整合と自動伴奏への応用

我々は、MIDI 楽器演奏に関して、楽譜のどこから始めても・飛んでも・戻っても、弾き間違えても追従する連弾やオーケストラの自動伴奏システム Eurydice を開発した。さらに、クラシック曲の演奏においても演奏の自由度が残るトリル、アルペジオ、装飾音などがあっても追従できるようにした。アメリカ音響学会の特別セッションにて、招待講演を行った。また、音響信号処理と組み合わせる MIDI 楽器でない一般の楽器(クラリネットなど)に対しても、任意のジャンプや後戻りに対しても追従して伴奏する機能を実現した。[鈴木、中村(知)、中村(栄)]

音楽演奏信号と楽譜の整合アルゴリズムと演奏 deviation data 作成

演奏と楽譜の整合は古くから DP に基づく手法[Orio2001, Raphael2004]があるが、2010年のMIREXコンテストでは我々が1位であった。演奏と楽譜の精密な整合の技術により、実際のピアニストの演奏から、楽譜からの deviation data を自動作成し、それを用いて自動演奏するような、すべて自動で「ピアニストの真似をする」技術を開発した。基本的に各音符の発音時刻、音長、強さの制御を、楽譜中の当該音の環境から推定する CRF によるモデル化を行い、自動演奏システム Polyhymnia を実現した。[鈴木、Vincent]

(INRIA, 千葉大と共同)

ギターの自動編曲

ギターは制約が多く、かつ多様な運指可能性がある。ピアノ曲からの編曲は、曲をなるべく損ねないでギター演奏可能空間への射影と見ることができる。HMMによるギター演奏モデルと曲の reduction 確率モデルの両者の積を最大化することで、ピアノ曲のギター自動編曲を実現した。[堀、吉永]

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 61 件、以下はその一部)

1. Hideyuki Tachibana, Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama, Singing Voice Enhancement in Monaural Music Signals Based on Two-stage Harmonic/Percussive Sound Separation on Multiple Resolution Spectrograms, IEEE/ACM IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, 査読有, Vol. 22 No. 1, 2014, pp. 228-237.
2. Stanislaw Andrzej Raczynski, Emmanuel Vincent, Shigeki Sagayama, Dynamic Bayesian Networks for Symbolic Polyphonic Pitch Modeling, IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, 査読有, Vol. 21, No. 9, 2013, pp. 1830-1840.
3. Hirokazu Kameoka, Misa Sato, Takuma Ono, Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama, Bayesian Nonparametric Approach to Blind Separation of Infinitely Many Sparse Sources, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, 査読有, Vol. E96-A, No. 10, 2013, pp. 1928-1937.
4. 深山覚, 中妻啓, 酒向慎司, 西本卓也, 小野順貴, 嵯峨山茂樹, 音楽要素の分解再構成に基づく日本語歌詞からの旋律自動作曲, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 54, No. 5, 2013, pp. 1709-1720.
5. 中村栄太, 武田晴登, 山本龍一, 齋藤康之, 酒向慎司, 嵯峨山茂樹, 任意箇所への弾き直し・弾き飛ばしを含む演奏に追従可能な楽譜追跡と自動伴奏, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 54, No. 4, 2013, pp. 1338-1349.
6. Masato Tsuchiya, Kazuki Ochiai, Hirokazu Kameoka, Shigeki Sagayama, Automatic Transcription of MIDI Signals Based on Probabilistic Model of Two-dimensional Rhythm Tree Structure Representation, Proc. APSIPA, 査読有, Vol. 1, 2013, pp. 1-6.
7. Tomohiko Nakamura, Eita Nakamura, Shigeki Sagayama, Acoustic score following to musical performance with

- errors and arbitrary repeats and skips for automatic accompaniment, Proc. SMC, 査読有, 2013, pp. 299-304.
8. Gen Hori, Hirokazu Kameoka, Shigeki Sagayama, Input-Output HMM Applied to Automatic Arrangement for Guitars, J. Information Processing, 査読有, Vol. 21, 2013, pp. 264-271.
 9. 嵯峨山茂樹, 酒向慎司, 堀玄, 深山覚, 確率的手法による歌唱曲の自動作曲, システム制御情報学会誌, 査読有, Vol. 56, No. 5, 2012, pp. 219-225.
 10. Naoya Itou, Satoru Fukayama, Daisuke Saito, Shigeki Sagayama, Generation of Tempo Curve for Performance Rendering of Piano Music with Automatic Phrase Analysis, Workshop of Machine Learning for Music 2012, 査読有, Vol. 1, 2012, pp. 1-2.
 11. Gen Hori, Yuma Yoshinaga, Satoru Fukayama, Hirokazu Kameoka, Shigeki Sagayama, Automatic arrangement for guitars using hidden Markov model, Proc. SMC, 査読有, Vol. 1, 2012, pp. 450-456.
 12. Hirokazu Kameoka, Kazuki Ochiai, Masahiro Nakano, Masato Tsuchiya, Shigeki Sagayama, Context-free 2D Tree Structure Model of Musical Notes for Bayesian Modeling of Polyphonic Spectrograms, Proc. ISMIR, 査読有, Vol. 1, 2012, pp. 307-312.
 13. Masahiro Nakano, Jonathan Le Roux, Hirokazu Kameoka, Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama, Infinite-state spectrum model for music signal analysis, Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 査読有, 2011, pp. 1972-1975.
 14. Jun Wu, Emmanuel Vincent, Stanistaw Andrzej Raczynski, Takuya Nishimoto, Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama, Multipitch Estimation by Joint Modeling of Harmonic and Transient Sounds, Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 査読有, 2011, pp. 25-28.
 15. Tae Hun Kim, Satoru Fukayama, Takuya Nishimoto, Shigeki Sagayama, Polyhymnia: An Automatic Piano Performance System with Statistical Modeling of Polyphonic Expression and Musical Symbol Interpretation, Proceedings of New Interface of Music Effects, 査読有, 2011, pp. 96-99.
 16. Tetsuro Kitahara, Satoru Fukayama, Shigeki Sagayama, Haruhiro Katayose, Noriko Nagata, An Interactive Music Composition System Based on Autonomous Maintenance of Musical Consistency, Proceedings of Sound and Music Computing, 査読有, 2011, pp. 362-367.
 17. Miquel Espi, Shigeki Miyabe, Takuya Nishimoto, Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama, Using Spectral Fluctuation of Speech in Multi-Feature HMM-based Voice activity Detection, Proceedings of Interspeech, 査読有, 2011, pp. 2613-2616.
 18. Masahiro Nakano, Jonathan Le Roux, Hirokazu Kameoka, Tomohiko Nakamura, Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama, Bayesian Nonparametric Spectrogram Modeling Based on Infinite Factorial Infinite Hidden Markov Model, Proceedings of WASPAA, 査読有, 2011, pp. 325-328.
 19. Hirokazu Kameoka, Masahiro Nakano, Kazuki Ochiai, Yutaka Imoto, Kunio Kashino, Shigeki Sagayama, Constrained and Regularized Variants of Non-negative Matrix Factorization Incorporating Music-specific Constraints, Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 査読有, 2012, pp. 5365-5368.
 20. Kazuki Ochiai, Hirokazu Kameoka, Shigeki Sagayama, Explicit Beat Structure Modeling for Non-negative Matrix Factorization-Based Multipitch Analysis, Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 査読有, 2012, pp. 133-136.
 21. Hideyuki Tachibana, Hirokazu Kameoka, Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama, Comparative Evaluations of Various Harmonic/Percussive Sound Separation Algorithms Based on Anisotropic Continuity of Spectrogram, Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 査読有, 2012, pp. 465-468.
 22. Miquel Espi, Masakiyo Fujimoto, Daisuke Saito, Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama, A Tandem Connectionist Model Using Combination of Multi-Scale Spectro-Temporal Features for Acoustic Event Detection, Proceedings of International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 査読有, 2012, pp. 4293-4296.
 23. 長谷川 隆; 西本 卓也; 小野 順貴; 嵯峨山 茂樹, 楽譜情報からの作曲家らしさ認識のための音楽特徴量の提案, 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 53, No.

3, 2012, pp. 1204-1215.

〔学会発表〕(計 3件、以下は部分)

1. 嵯峨山茂樹, 小野順貴, 亀岡弘和, 齋藤大輔, 確率的逆問題としての音楽の信号処理と情報処理, 情報処理学会音楽情報科学研究会(招待講演), 2012年6月2日~2012年6月3日, 東京大学, 東京都.
2. 嵯峨山茂樹, 数理モデルによる音楽情報処理, 電子情報通信学会・日本音響学会 音声研究会, 電子情報通信学会 パタン認識とメディア理解研究会 共催研究会, 2012年2月10日, 東北大学, 宮城県.

〔図書〕(計 1件)

1. Tae Hun Kim, Satoru Fukayama, Takuya Nishimoto, Shigeki Sagayama, Springer Verlag, Statistical Approach to Automatic Expressive Rendition of Polyphonic Piano Music, in *Guide to Computing for Epressive Music Performance*, 2012, pp. 145-180.

〔産業財産権〕

出願状況(計 4件)

名称: 日本語歌詞からの多重唱の自動作曲方法及び装置

発明者: 嵯峨山茂樹、齋藤大輔、深山覚、桐淵大貴

権利者: 国立大学法人 東京大学

種類: 特許出願

番号: 特願 2013-042453

出願年月日: 2013年3月5日

国内外の別: 国内

名称: 最適経路探索装置

発明者: 嵯峨山茂樹

権利者: 国立大学法人 東京大学

種類: 特許出願

番号: 特願 2012-213401

出願年月日: 2012年9月27日

国内外の別: 国内

名称: 音響信号解析装置、方法、及びプログラム

発明者: 嵯峨山茂樹、小野順貴、亀岡弘和、小野拓磨、佐藤美沙

権利者: 日本電信電話株式会社, 国立大学法人 東京大学, 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構

種類: 特許出願

番号: 特願 2012-190189

出願年月日: 2012年8月30日

国内外の別: 国内

名称: 音響信号解析装置、方法、及びプログラム

発明者: 亀岡弘和、小野拓磨、小野順貴、嵯峨山茂樹

権利者: 日本電信電話株式会社, 国立大学法人 東京大学, 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構

種類: 特許出願

番号: 特願 2012-190188

出願年月日: 2012年8月30日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://hil.t.u-tokyo.ac.jp/>

<http://researchmap.jp/sagayama/>

<http://www.onn.nii.ac.jp/onono.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

嵯峨山茂樹 (Shigeki Sagayama)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・特任教授

研究者番号: 00303321

(2)研究分担者

小野順貴 (Nobutaka Ono)

国立情報学研究所・情報学プリンシプル研究系・准教授

研究者番号: 80334259

西本卓也 (Takuya Nishimoto)

東京大学・情報理工学系研究科・助教

研究者番号: 80283696

(平成25年度より連携研究者)

齋藤大輔 (Daisuke Saito)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教

研究者番号: 40615150

(平成25年度より連携研究者)

堀玄 (Gen Hori)

亜細亜大学・経営学部・准教授

研究者番号: 60322658

中村和幸 (Kazuyuki Saito)

明治大学・総合数理学部・准教授

研究者番号: 40462171

(3)連携研究者

金子仁美 (Hitomi Kaneko)

桐朋学園大学・音楽学部・准教授

研究者番号: 00408949