

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500216

研究課題名(和文)空間充填曲線による画像認識・検索に関する研究

研究課題名(英文)Research on image recognition and retrieval using space-filling curves

研究代表者

鎌田 清一郎(Kamata, Seiichiro)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：00204602

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：薬局等で患者に間違いなく薬が提供されているかをチェックする大規模画像検査システムを実現するため、空間充填曲線を利用して画像認識・検索に関する研究を行った。まず画像の色情報を利用した線形多様体色記述子を提案し、色特徴記述について新たな方法論を確立した。また薬剤などの形状記述には回転不変で識別能力の高い新たな多元極フーリエ記述子を提案した。さらに複数の空間充填曲線を利用して適応的ヒルベルト走査型Bag-of-Features検索方式を提案した。これは、画像の性質を基にしてヒルベルト走査などの様々な走査方法を適応的に選択する方式を導入したものであり、画像の検索効率を向上させることができた。

研究成果の概要(英文)：In order to realize a large-scale image inspection system for preventing human error of medicine dispensing to patients at pharmacy, research on image recognition and retrieval using space-filling curves is introduced. First a linear manifold color descriptor is proposed for medicine package recognition. And then a new shapr descriptor called hyper-complex polar Fourier analysis is developed for medicine feature extraction. Finally using several space filling curves, an adaptive Hilbert scan based Bag-of-Features is proposed for image retrieval. This method is based on adaptive selection of several scanning methods like Hilbert scan, etc., and several experiments show that the proposed method performs better than other retrieval methods.

研究分野：画像処理、パターン認識

キーワード：画像認識 画像検索 空間充填曲線 薬剤パッケージ ヒルベルト走査

1. 研究開始当初の背景

近年ジェネリック薬がだんだんと利用されるようになり、外観の酷似した薬剤が多く販売されており、特に調剤薬局においては、先発薬とジェネリック薬が同じ薬棚に入っておりシート包装、剤型、色ともに類似しているため、調剤過誤に結びつく危険が指摘される。また、一包化調剤などでは、調剤から監査を正確に行うのは責務であるが、過大な労力と神経質なまでの注意を要求されるのが現状であり、少なからず調剤過誤が発生しているのも現実である。多様な形状、色、大きさの錠剤の種類と錠数を迅速かつ正確に判別することが要求されるため、これを行う薬剤師には高度の熟練が要求され、その負担が大きく、間違っただけで患者に渡す一因となっている。これまで、一種類の錠剤がシート上に複数個入った PTP (Press Through Packages) 錠の画像監査装置はいくつか実用化されてきたが、実際に薬局で利用状況を聞くと認識率があまり良くなく心理的負担があまり軽減されていないのが現状である。図 1 に薬剤 PTP 錠の例を示す。また、一包化された薬剤の監査装置に至っては画像解析では困難とされており、これまでにほとんど実用化されていない。このような薬局における画像監査装置に関する課題は悪条件下のパターン認識問題と考えられる。さらに、調剤過誤防止装置は医療機関、当該患者および第三者が追跡、検証可能なデータの保存を目的として、その監査結果を、患者の求めに応じて開示できるようにする必要がある。すなわち、処方箋と調剤薬の突合だけでなく、調剤薬の画像そのものを履歴として残し高速検索ができるようにしたいという要望がある。

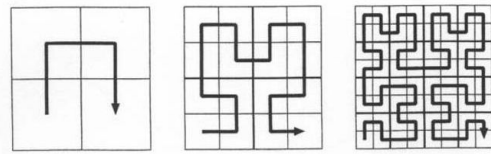


図 1 薬剤 PTP 錠の例

2. 研究の目的

本研究は、前述のような背景の画像認識・検索による調剤過誤防止を実現するのはもちろんのことであるが、他の応用分野、例えば人物、顔認識、検索などへの適用を可能にするため、これまでの MPEG7 (Moving Picture Experts Group-7) などの特徴記述子とは全く異なった視点から特徴抽出および検索効率を考えた特徴記述子による画像認識方式および検索方式の開発を目指している。2000 年初めに画像検索において局所特徴量を用いた画像記述法として、Csurka らによる Bag-of-Features (BoF) あるいは Bag-of-Visual Words (BoVW) が提案され、当該分野

の研究が大きく発展した。これは、1983 年 Salton らが提案した文書分類手法である Bag-of-Words を画像に適用したものであり、画像を局所特徴量の集合とみなし、局所特徴量のヒストグラムを使って画像検索を行うものである。これまで原画像からのカラーヒストグラム、SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) 特徴と BoF などを組み合わせた高速検索として数多くの提案手法があるが、ここでは図 2 のような複数の空間充填曲線による 1 次元化に着目し、その木構造データ表現からの木探索が高速に行うことができ、またカラーヒストグラムはもちろんのこと、形状などの特徴記述子を高速に計算できるようにした画像認識および検索のための新たな方法論の構築を目的とする。



ヒルベルトによって示された空間充填曲線

図 2 空間充填曲線の例

3. 研究の方法

複数の空間充填曲線による画像認識・検索に関する研究を遂行するにあたっての具体的な研究の方法は次の通りである。なお、本研究の研究期間は平成 24 年～26 年の 3 年である。

(1) 色情報は画像の重要な情報の一つであり、パターン認識や画像検索の分野で広く活用されている。画像の色分布をより効率的に記述しそれらを照合するために、国際標準 MPEG-7 をはじめ多くの色記述子がこれまで提案されてきた。しかし MPEG-7 のヒストグラム記述による Scalable Color Descriptor (SCD) や、クラスタ (代表色) 記述による Dominant Color Descriptor (DCD) などでは、薬剤 PTP 錠の識別に対してその有効性があまり確認できなかった。本研究では図 1 のような対象にも適用可能で大局的色情報を保持する色記述子を検討する。具体的には色情報の多次元分布を線形多様体として捉え、画像を色に関する線形多様体で記述し、多様体間の照合によって画像認識の性能がどのようになるかを明らかにする。

一般に色情報はスペクトルとして多次元信号 (例えば R (赤) 信号, G (緑) 信号, B (青) 信号の RGB 空間は三次元) になる。固有値展開によって分布の照合を部分空間の照合に代替できる。この考え方は、多くの問題に対して高い識別性能を発揮してきた相互部分空間法であるが、本問題に適用すると性能的に問題があることがわかった。様々な薬剤 PTP 錠の画像を可能な限り収集し、画像

に対して色分布を構成する薬剤包装識別による評価を行い、相互部分空間法および従来技術の SCD や DCD と比較して処理時間や識別率の点で比較する。また、本研究では、部分色多様体記述子に様々な照明や反射条件下でいかに頑健であるかを検討にする。

(2) 一包化された錠剤の監査装置の実現をめざし、様々な画像解析手法を利用して、処方箋の情報との突合(処方箋どおりに錠剤がだされているかどうかの監査)を行うが、一包化された袋に入っている複数種の錠剤・カプセルの数量・形状から同種であることを判別し、間違っ包装されたものを検出する。一定の照度で画像解析を行い、袋のたわみなどによる乱反射を回避し、最初の袋を基準としてこの錠剤の形状・数量を登録し、連続する袋の判別を行う。これまで形状情報には回転不変である極座標フーリエ記述子を考察してきたが、本研究では、多元数を用いて信号をベクトル場として取り扱った多元フーリエ変換への拡張を検討する。多元数とは、実数を1元数として、複素数を2元数として扱うもので、3次元物体などの表現に4元数などが用いられる。

(3) 単剤の識別、シート包装・一包化調剤の監査のための画像を履歴とともに蓄積する必要がある。毎日薬局では100名~1,000名の患者が来局することになるが、これらの情報を蓄積し、高速に検索する技術が必要になる。これまで画像検索では、画像処理の基礎である木構造表現による大規模画像データベース検索に関する研究に空間充填曲線の導入を検討して新たな方法を見いだした。これは、空間充填曲線の一種であるヒルベルト曲線を利用し、近傍保存性の高い1次元直線上に写像することにより、多次元特徴空間におけるクラスタ形成を高速かつ高精度に行う方式である。大規模画像検索において研究されているBOFを拡張し、ヒルベルト走査型BOF(Hilbert-Scan based BoF, HS-BoF)を提案しているが、様々な走査方法の適用、クラスタリングの方法を検討することにより、記憶容量の削減および計算量の削減がどの程度の効果があるかを明らかにする。大規模画像データベース(ImageNetなど)を用いた画像検索実験の結果、提案手法が従来手法よりどの程度改善できるかを検討する。

4. 研究成果

4.1 高速色記述子

画像認識についてはまず色情報における記述子としてどのような特徴が抽出できるかを検討した。その結果、オブジェクト認識の高速化を目指してRGB表色系に基づく新たな高速色記述子を提案した。ここでは、提案手法を線形多様体色記述子(Linear Manifold Color Descriptor, LMCD)と呼ぶ。LMCDはRGB色空間において図3のように限定色の色分

布を線形多様体として捉え、Karhunen Loeve Transform (KLT)により少数次元の固有空間で表現することにより高速化を図るものである。またカラー画像を複数の固有ベクトルと重み係数の集合により表現し、2画像間の相違度を固有ベクトル集合間の重み係数との線形演算で定義し、より精度向上を実現した。薬剤パッケージなどの色識別を行うために、様々な重み係数をもった色記述子間の相違度を計算し、従来手法として相互部分空間法やJ勾配法などと比較して高速かつ高精度識別を実現した。1836枚の薬剤パッケージ画像を用いた評価実験では、MPEG-7に用いられているヒストグラムに基づく従来の色記述子SCDあるいはDCDなどと比較して、提案するLMCDが識別率において1.0~6.5%精度向上、また計算量を3分の1程度に削減できることを確認した。

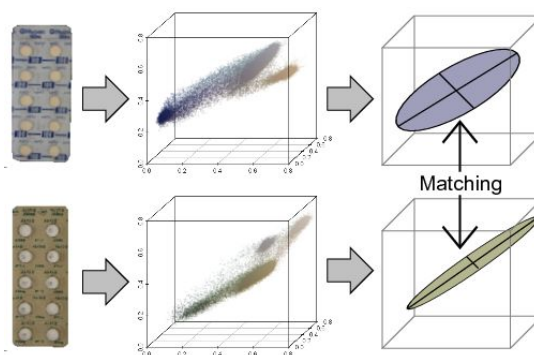


図3 色空間の線形多様体による照合

4.2 形状認識

薬剤監査装置では薬剤師によって薬剤PTP錠が様々な角度で置かれたりするため、認識における形状特徴は回転不変である必要がある。本研究では、多元フーリエ変換を極座標で表現した新たな高速多元極フーリエ変換を構築した。その利点は、対象物体のカラー画像において、その物体を回転させても画像上でその特徴量が変化しないような記述子を構成できることにある。ここで、RGB色情報は図4のように3枚のプレートに対して、それぞれを3元数として取り扱うことができる。

多元極フーリエ変換は、対象部分画像の変換および逆変換によって画像情報が完全に元に戻るものであり、画像をプログレッシブ表現(Gross-to-Fine representation)のように段階的に再構成することもできる。前述のように多元極フーリエ記述子は回転の不変性を持ち、識別性能のある特徴抽出に使うことができる。また、多元極フーリエ記述子の高速化を図り、高速フーリエ変換のように高速アルゴリズムを見出し、CPUベースのソフトウェア実行速度比で、約10倍の高速化を実現できた。

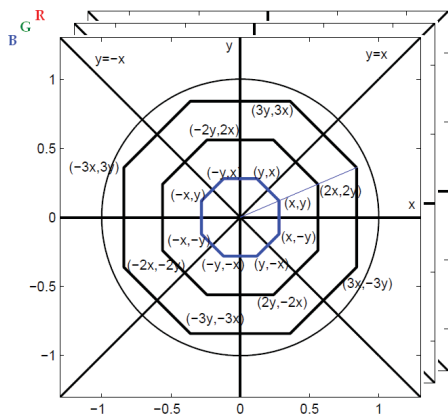


図4 多元極フーリエ記述子

4.3 単剤認識

患者の高齢化進展から、病院や薬局では薬剤の裸錠監査に対するニーズが急増しているが、患者の持ち込む裸錠が何であるかを特定する裸錠認識アルゴリズムを検討した。裸錠には図5のように色、形状、刻印情報などを含んでいるが、刻印は重要な識別情報である。刻印は同色で刻んだものが多くあるため、そのエッジから2段階サンプリングにより特徴点を抽出し、それらの特徴点から距離集合を検出した特徴量を用いて、刻印情報を記述する方法を考案した。約2,500種類の錠剤の表裏を撮影した画像を薬局等から集め、提案手法の裸錠認識に関する評価実験を行った。その結果、上位5位までに入る認識率は約93%程度であることがわかった。従来手法のPill-IDやSDM(2010)などに比べて大幅に向上することを確認した。

次に、6,500種に及ぶ裸錠の種類を正確に認識するためには、重要な情報として裸錠に刻まれた刻印、印字などがある。このため刻印等の情報を高精度で検出する回転不変の新たな裸錠特徴抽出法を考案した。これは多段階サブサンプリング法により刻印情報を効率よく記述する特徴記述子である。また、新たな特徴記述子を使ったパターンマッチング法を開発した。その結果、6,500種類の裸錠認識に関しては、リアルタイム処理が可能で、かつ認識率95%以上(正解が上位10位以内に入る割合)が実現できることを確認した。



図5 錠剤のパターン例

4.4 高速画像検索

画像検索については、空間充填曲線の一種であるヒルベルト曲線を用いたHS-BoFの拡張方法を提案した。これは、画像の基本特徴(色、形状など)を表すデータ特徴量に対してkmeansなどのクラスタリング手法により、近い特徴を持ったものをグループ化してカテゴリ名をつけ、各グループの代表特徴量に対して木構造表現を用いて類似グループを階層的にまとめ、画像内の対象物を階層上に表現し、この表現上で対象の部分画像を検索する方法である。実験では、Caltech-256やImageNetなどを用いて評価実験を行った結果、提案手法は、従来手法BoFに比べて、少ないメモリで高精度検索が可能であることがわかった。

次に膨大なデータセットからのオブジェクトを効率的に特定するための検索手法を検討した。これは画像をオブジェクトのグループなどにに基づき組織化を行い、高速検索を可能にするものである。ここで組織化とは、グループ化を行い複数のクラブを作るようなイメージである。あるオブジェクトはいずれかのクラブに属するようにクラスタリングを行うことになる。また膨大なデータセットからのオブジェクト等を効率的に特定するための辞書学習法を開発した。これはL1ノルムをベースとしたこれまでのスパース辞書学習に、Maximum Correntropy Criterion(MCC)による区分的拘束条件を設定して、学習用データからクラブ等の再組織化を行い、高精度のクラスタリングを可能にするものである。また、オブジェクト画像の粗検索法としてMCCによる線形判別関数を利用したシグネチャを提案した。シグネチャは、HS-BoFの次元数Nの特徴空間を、探索性能をできるだけ保持するように次元縮退させ、低次元K($N \gg K$)の特徴空間に変換するものである。100万枚以上の顔画像を含んだデータセットから顔検索することを試みた。従来手法として代表的なKey-Faces(2010)やFace-Track(2005)などに対する比較実験を行った結果、提案手法がmAP(mean Average Precision)において数パーセント向上することを確認した。また、シグネチャによる高速化では検索性能を劣化させることなく、検索時間において従来手法より約10%と大幅に改善できることを確認した。

さらに画像処理の基礎である木構造表現による大規模画像検索に関する研究において、複数の空間充填曲線の導入を検討し、これまでのヒルベルト走査型BoF(HS-BoF)を拡張した適応的HS-BoF(Adaptive HS-BoF, AHS-BoF)を提案した。これは、様々な走査法を利用して空間情報をいかに効果的に導入するかを検討したものである。図6のように複数の空間充填曲線を走査法として用いることにより、画像内の対象物などの実空間における近傍概念の保存が可能ながざり実

現できる．個々の画像に対して複数の走査法の中からいくつかの指標によりどの走査法が最も適しているかを選択し，図7のような木構造表現を構築する．最も効率のよい走査法を適用した結果，画像検索効率を向上させることができた．走査選択法として，特徴点数に基づく指標を定義し，記憶容量の削減および計算量の削減の観点からどの程度の効果があるかを検討した．大規模画像データベース(Caltech256など)を用いた画像検索実験の結果，提案手法であるAHS-BoFがこれまで提案してきたHS-BoFよりmAPにおいて約3~5%改善できることがわかった．

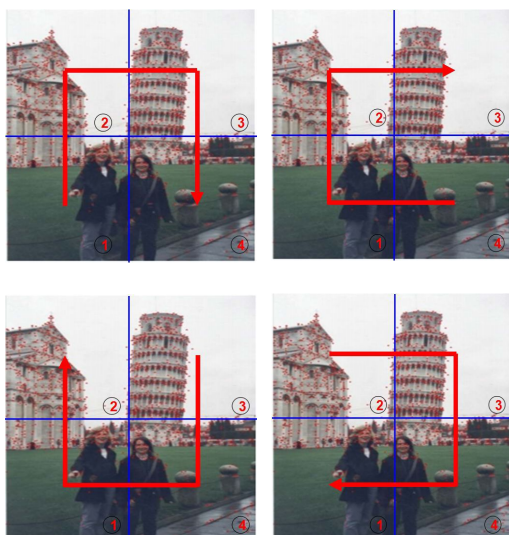


図6 複数の空間充填曲線の利用

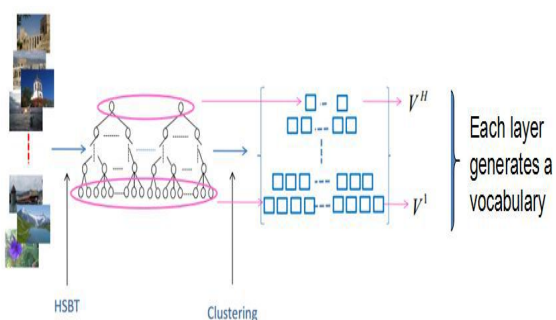


図7 木構造表現

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計13件)

Jiye YU, Zhiyuan CHEN, Sei-ichiro KAMATA and Jie YANG, Accurate system for automatic pill recognition using imprint information, IET image processing, 2015,(Accepted) 査読有.
Kenjiro SUGIMOTO and Sei-ichiro KAMATA, Efficient Constant-time Gaussian

Filtering with Sliding DCT/DST-5 and Dual-domain Error Minimization, ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.3, No.1, pp.2-11, 2015, 査読有.

Qieshi ZHANG and Sei-ichiro KAMATA, Multi-Histogram Mapping and Fusion based Image Contrast Enhancement, ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.3, No.1, pp.12-21, 2015, 査読有.

Qieshi ZHANG and Sei-ichiro KAMATA, Improved Color Barycenter Model and Its Separation for Road Sign Detection, IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E96-D, No.12, pp.2839-2849, 2013, 査読有.

Pengyi HAO and Sei-ichiro KAMATA, Efficient Large-scale Video Retrieval Via Discriminative Signatures, IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E96-D, No.8, pp.1800-1810, 2013, 査読有.

Qieshi ZHANG and Sei-ichiro KAMATA, A Novel Color Descriptor for Road-Sign Detection, IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E96-A, No.5, pp.971-979, 2013, 査読有.

Wei ZHOU and Sei-ichiro KAMATA, L1-Norm Based Linear Discriminant Analysis: An Application to Face Recognition, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E96-D, No.3, pp.550-558, 2013, 査読有.

Wei ZHOU, Alireza AHRARY and Sei-ichiro KAMATA, Face Representation and Recognition with Local Curvelet Patterns, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E95-D, No.12, pp.3078-3087, 2012, 査読有.

Jian ZHANG and Sei-ichiro KAMATA, A Simple and Effective Clustering Algorithm for Multispectral Images Using Space-Filling Curves, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E95-D, No.7, pp.1749-1757, 2012, 査読有.

Pengyi HAO and Sei-ichiro KAMATA, Efficiently Finding Individuals from Video Dataset, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E95-D, No.5, pp.1280-1287, 2012, 査読有.

Wei ZHOU, Alireza AHRARY and Sei-ichiro KAMATA, Image Description with Local Patterns: An Application to Face Recognition, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E95-D, No.5, pp.1494-1505, 2012, 査読有.

Zhuo YANG and Sei-ichiro KAMATA, Novel

Algorithm for Polar and Spherical Fourier Analysis on Two and Three Dimensional Images, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E95-D, No.5, pp.1248-1255, 2012, 査読有.

Kenjiro SUGIMOTO, Koji INOUE, Yoshimitsu KUROKI and Sei-ichiro KAMATA, A Linear Manifold Color Descriptor for Medicine Package Recognition, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E95-D, No.5, pp.1264-1271, 2012, 査読有

[学会発表](計 2 1 件)

Renjie Wu, Qieshi Zhang and Sei-ichiro KAMATA, Optimized Curvelet-based Empirical Mode Decomposition, SPIE Proc. of Int. Conf. on Machine Vision (ICMV2014), 2014 年 11 月 20 日, Milan (Italia).

Jegoon RYU and Sei-ichiro KAMATA, A Fast and Accurate Distance Measurement using Multi-Hilbert Scanning for Point Pattern Matching, Proc. of Int. Workshop on Machine Vision and Intelligence (MVI2014), 2014 年 10 月 22 日, 北九州学研都市会議場(福岡県北九州市).

Jiya YU, Zhiyuan CHEN and Sei-ichiro KAMATA, Pill Recognition Using Imprint Information by Two-step Sampling Distance Sets, IEEE Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR2014), 2014 年 8 月 27 日, Stockholm (Sweden).

Zhiyuan CHEN and Sei-ichiro KAMATA, A New Accurate Pill Recognition System Using Imprint Information, SPIE International Conference on Machine Vision (ICMV2013), 2013 年 11 月 16 日, London (UK).

Kenjiro SUGIMOTO and Sei-ichiro KAMATA, Superfast Gaussian Filter with Second-Order Shift Property of DCT-V, IEEE International Conference on Image Processing(ICIP), 2013 年 9 月 16 日, Melbourne (Australia).

Chengjie WANG, Sei-ichiro KAMATA and Lizhuang MA, A Fast Multi-View Based Specular Removal Approach for Pill Extraction, IEEE International Conference on Image Processing(ICIP), 2013 年 9 月 18 日, Melbourne (Australia).
Pengyi HAO and Sei-ichiro KAMATA, An Efficient Video Retrieval Scheme Based on Facial Signatures, IEEE International Conference on Image Processing(ICIP), 2013 年 9 月 18 日, Melbourne (Australia).

Pengyi HAO and Sei-ichiro KAMATA, Maximum Correntropy Criterion for

Discriminative Dictionary Learning, IEEE International Conference on Image Processing(ICIP), 2013 年 9 月 17 日, Melbourne (Australia).

Pengyi HAO and Sei-ichiro KAMATA, Facial Signatures for Fast Individual Retrieval from Video Dataset, IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), 2013 年 7 月 17 日, San Jose (USA).

Qieshi ZHANG and Sei-ichiro KAMATA, Color Barycenter Model based Multi-Histogram Mapping and Merging for Image Enhancement, 13rd IAPR International Conference on Machine Vision Applications, 2013 年 5 月 21 日, 立命館大学(京都府京都市).

Wei ZHOU, Sei-ichiro KAMATA, Face recognition with learned local curvelet patterns and 2-directional L1 norm based 2DPCA, International Workshop on Computer Vision With Local Binary Pattern Variants, 2012 年 11 月 5 日, Daejeon (South Korea).

Wei ZHOU and Sei-ichiro KAMATA, Linear discriminant analysis with maximum correntropy criterion, 11th Asian Conference on Computer Vision, 2012 年 11 月 5 日, Dejung (South Korea).

Pengyi HAO and Sei-ichiro KAMATA, Unsupervised people organization and its application on individual retrieval from videos, IAPR International Conference on Pattern Recognition, 2012 年 11 月 11 日, つくば国際会議場(茨城県つくば市).

Kenjiro SUGIMOTO and Sei-ichiro KAMATA, Fast Image Filtering by DCT-Based Kernel Decomposition and Sequential Sum Update, IEEE International Conference on Image Processing, 2012 年 9 月 30 日, Orland (USA).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鎌田 清一郎 (KAMATA Sei-ichiro)
早稲田大学理工学術院
研究者番号: 00204602

(2) 研究協力者

杉本 憲治郎 (SUGIMOTO Kenjiro)
張 ケツ石 (ZHANG Qieshi)
柳 濟群 (RYU Jegoon)
楊 卓 (YANG Zhuo)
郝 鵬翼 (HAO Pengyi)
周 尉 (ZHOU Wei)
俞 霽野 (YU Jiya)
汪 セイ傑 (WANG Chengjie)
吳 仁傑 (WU Renjie)