

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560400

研究課題名(和文)環境に適応し成長する機能メモリベースVLSIシステムに関する研究

研究課題名(英文)Study on a functional memory-based VLSI system to grow and adapt to the environment

研究代表者

小出 哲士(KOIDE, Tetsushi)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・准教授

研究者番号：30243596

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、特徴量抽出、特徴量変換、学習、認識に関する研究を行った。開発した基盤技術を複数の画像処理アプリケーションに適用し、アルゴリズム開発とアーキテクチャ設計を行い、ソフトウェア/ハードウェア協調設計環境への実装を行なった。検証したアプリケーションとしては、リアルタイム性が要求される車載用の車検出、標識検出、白線検出へ適用した。また、アダプティブな自動学習アルゴリズムを開発するために、サポートベクターマシン(SVM)による学習アルゴリズムを用いた適応的学習を行い、医療用画像の診断支援をアプリケーションの1つとして実施した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we discussed feature extraction, feature transformation, adaptive learning and recognition for specific applications. The proposed fundamental technologies for the above subjects were applied to several image processing applications. We also developed new algorithms and architecture designs and implemented them in the software and hardware co-design system. We selected several real time image processing applications which include vehicle detection, speed sign detection, and lane detection on the intelligent vehicle system. So as to develop the adaptive learning algorithm and architecture, we researched the support vector machine based adaptive learning system and applied the proposed system to the medical image processing system with computer aided diagnosis.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：特徴量抽出 特徴量学習 サポートベクターマシン(SVM) 画像処理 集積回路 アーキテクチャ FPGA ソフトウェア/ハードウェア協調設計

### 1. 研究開始当初の背景

人間の脳は長い進化の過程において優れた情報処理機能を獲得してきた。この情報処理機能を工学的に模倣し活用する生体模倣型集積回路は現在盛んに研究されているが、生物とは性質の違う集積回路による模倣は困難を伴い実用的な応用には未だ距離がある。一方、集積回路技術はトランジスタの微細化や高速化、三次元集積技術による大容量化や高密度化など目覚ましい発展を続けている。そこで単純な生体模倣に留まらない、より集積回路技術に適合した情報処理機構を構築できれば、特定の側面において人間の脳を超越する VLSI システムの実現は可能である。

### 2. 研究の目的

本研究では、研究代表者の研究グループがこれまでに開発してきた、(1)画像認識技術、(2)連想メモリ技術、(3)超高速 SRAM 多ポートメモリ技術、並びに、(4)SRAM エンベデッドプロセッサ技術の4つの基盤技術を活用することで、認知処理において処理速度と記憶容量の点で人間の処理を超え、また、人間のように環境に応じて適応的に学習し、経験を獲得する人間の能力を取り入れた、集積回路化に適した「成長する」知能情報処理 VLSI システムのための基盤技術の開発を目指す。また、システムの適用例として、自動車における環境認識や医療用画像診断支援への応用を検討し、検証結果を通じて基盤技術を開発する。

### 3. 研究の方法

**(1)画像情報を用いた環境推定アルゴリズムとアーキテクチャの開発:** イメージセンサからの画像入力情報処理は、自動車やロボットへの応用を考えた場合には非常に重要な要素である。そこで、これまでに我々が開発している画像分割技術、動物体追跡技術、顔認識技術を拡張し、融合することにより、自動車環境(対自動車、対歩行者、標識、ドライバ情報の獲得)を例として環境の状態を推定するアルゴリズムを開発する。

**(2)学習連想メモリコンピューティングアーキテクチャの開発:** 脳の学習機能を模倣した短期・長期記憶の概念を拡張し、入力情報(センサ情報)の変化に適応可能なオンライン学習を実現する。更に、開発している連想メモリ技術を用いて、複数のメモリブロックを階層的に結合することにより、大容量メモリを学習に有効に利用して、複数の学習メモリをアダプティブに切替え可能な階層構造型学習メモリ VLSI アーキテクチャを開発する。

**(3)開発したアルゴリズムのシミュレーションによる性能評価とアプリケーションへの適用:** 人間とコンピュータが関わり合うシステムの例として、自動車環境を取り上げ、最も効率の良いアルゴリズム・アーキテクチャをシミュレーションにより、評価・検討する。また、過去の情報を蓄積し、学習する方法を

認識処理に適用するために、医療用画像の診断支援システムへの適用をアプリケーションとして取り上げ、アルゴリズムの基本技術を確認し、アルゴリズムの改良を行う。

### 4. 研究成果

**(1)SIMD 型マトリックスプロセッサのための Haar 特徴ベースオブジェクト検出の研究:** 本研究では、SIMD 型マトリックスプロセッサを用いた効果的なオブジェクト検出を実現した。検出アルゴリズムには、環境変化に強い Haar 特徴と AdaBoost を用いた。SIMD 型プロセッサ向けにアルゴリズムを改良し、コンポジット Haar 特徴の提案を行い、検出率をほぼ 100%に保ったまま、Haar 特徴数でオープンソースに比べて約 85 %削減を達成した。また、Haar 特徴を顔以外に車検出にも適用し、最適な SW サイズで適応学習をしすることで各 SW サイズにおいて走行中の車を検出できた。また、Haar 特徴の面積に着目し、学習後に 1 pixel 未満の Haar 特徴を削除しても検出率を保ったまま誤検出率を学習時に比べ約 50 %改善、Haar 特徴数を約 60 %削減できた。更に対称的な Haar 特徴パターンを追加することでも検出精度の向上が確認できた。

**(2)パスエンコーディング手法を用いた周波数マッピング連想メモリの高速度化:** 複数の参照データの中から入力データを検出する連想メモリはパターン認識などに適用可能な機能メモリである。本研究では、距離を周波数領域に変換し遅延時間の差を検出することでスケラブルかつ高信頼な周波数マッピング連想メモリを開発した。開発した周波数マッピング連想メモリは距離 - 周波数変換回路にリングオシレータを用いることでトランジスタのばらつきの影響を低減し、後段の分周器により、信頼性の向上を実現した。検索時間の更なる高速化のためには、リングオシレータの段数の最適化が不可欠である。そこでこれを実現するためにパスエンコーディング手法を提案し、コンパクトな実装を実現することで最短検索時間において約 1.7 倍の高速化を実現した。65 nm CMOS 技術で試作した結果、最短検索時間 25 ns、最大消費電力 4.3 mW であり、従来の連想メモリより最短検索時間は 80%以上、最大消費電力は 95%以上削減し、実用時に重要となる範囲でのエラーフリーな最小距離検索を達成した。

**(3)画像情報を用いたアルゴリズムのハードウェア・ソフトウェア協調設計の構築:** オブジェクトトラッキングおよび物体認識のようなオブジェクト指向の画像解析と画像認識の前処理として、低消費電力、高いオブジェクト分割能力、並びに、大きなサイズの画像を取り扱うことができるリアルタイム画像分割は必要な不可欠である。画像処理システムでは、システムをハードウェア(HW)とソフトウェア(SW)コンポーネントにどのように分離するかが重要な課題である。そこで、画像処理システムを HW/SW の協調設計を可能

にするシステムを開発した。開発した HW/SW 協調設計システムは、PC、FPGA ボードからなるハードウェアパートと、OpenCV ライブラリと PC の PCI express インターフェースに接続された FPGA ボードのための API ドライバなどのソフトウェアパートから構成される。HW/SW 協調設計システムの画像処理の速度はソフトウェア (Matlab) シミュレーションより約 100 倍速い。これにより HW/SW 協調設計システムがハードウェア向け画像処理アルゴリズムの評価のために有効であることを検証した。

**(5) 道路環境におけるスマートな大域・局所特徴量を用いたリアルタイム道路速度標識認識システムの開発：**本研究では、グレースケール・カラーの道路情景画像から速度標識の検出を行い、その後の処理により更に数字を認識し画面上に処理結果として数字を表示させるシステムを開発した。車載向けシステムのためには、リアルタイム処理、高精度認識、低リソースが必要である。速度標識の検出処理には、オブジェクトの明暗差を特徴量とする Haar 特徴を拡張して速度標識の赤い円部分に沿って、スキャンウィンドウ内に明暗差の明部分を表す白と暗部分を表す黒の対になる矩形を 8 つ配置する方法を開発した。そして明暗差に対して閾値を設け、ある一定の値以上になると白と黒の部分の矩形のパターンがマッチしたとみなすようにした。入力画像は撮影条件により閾値が変化するため、環境に応じて動的に閾値が変化するアルゴリズムを開発した。2 値化処理に対しては、新たに開発した標識強調フィルタををシミュレーションにより消化した。この結果、標識検出部分のアルゴリズムでは、ほぼ 100% の精度で検出を行うことに成功した。

次に標識検出部で得られた標識から速度となる数字部分の認識について行った。ここでは 2 値化された数字の形状の違いを、黒と白のヒストグラムで特徴化し (局所特徴量)、認識を行う手法を提案した。その結果、0 から 9 までの道路標識の数字を約 100% の認識率の精度で認識することができた。

**(6) リアルタイム特徴量抽出システムの開発と大腸内視鏡画像診断支援への応用：**リアルタイムでの診断支援の実現にはシステムのハードウェア実装による高速化が重要となる。本研究では、大腸 Narrow Band Imaging (NBI) 拡大内視鏡画像診断支援 Computer-Aided Diagnosis システムの特徴量抽出部のハードウェア設計を行った。特徴量抽出とは、入力画像に対して局所領域毎の輝度の勾配情報を局所特徴量として算出していく処理のことであり、本システムでは識別精度の観点から Dense Scale-Invariant Feature Transform (D-SIFT) を採用した。しかし D-SIFT のソフトウェア実装には平滑化などの繰り返し処理や精度を保つための浮動小数点演算が多用されており、ハードウェア実装には不向きである。そこでコンパクトかつ

高速な特徴量抽出を行うとともに、NBI 画像向けにカスタマイズすることにより識別精度の向上を実現するハードウェア向け D-SIFT アルゴリズムの開発を行った。

まず Gaussian Filter 係数を 2 のべき乗値に近似することで、乗算器を用いず加算器のみでの平滑化処理を実現した。また x, y 方向への輝度変化値の符号 bit の組み合わせにより輝度の勾配方向を決定することで arctan 関数の計算の省略と 8 方向から 4 方向への次元数の圧縮を行い、勾配強度算出の際用いるユークリッド距離計算をマンハッタン距離計算にすることで 2 乗と平方根の計算を加算に置き換えた。さらに Gauss 関数による重み付け処理を省略することでラスタスキャンによる全画面認識における特徴の再利用を可能にし、メモリ量を全体の約 94% 削減した。また内視鏡画像への最適化として正規化処理を省略し、しきい値処理に置き換えた。ソフトウェアシミュレーションにより提案アルゴリズムとソフトウェア実装アルゴリズムとの識別精度を比較し、提案アルゴリズムにおいて True Positive で約 3% の精度の向上を確認した。以上の結果から乗算器、除算器を全く使用せず、また Line Buffer を複数使用することでピクセルごとのパイプライン処理を実現する D-SIFT アーキテクチャを提案した。提案アーキテクチャを FPGA に実装し、最大動作周波数：126.69MHz、レイテンシ：15.3ms@126.69MHz、スループット：60.6fps@126.69MHz を達成することができた。

**(7) サポートベクターマシンを用いたピラミッド型識別器の開発と大腸内視鏡画像診断支援への応用：**本研究では、Support Vector Machine (SVM) を用いたタイプ識別器の FPGA 実装および全画面認識するピラミッド型識別手法を開発した。本研究では Support Vector (SV) は数百から数千抽出され、特徴量の次元が 64~128 であることから、リアルタイム処理実現のためには処理コストの削減、多並列処理が必須となる。そこでソフトウェアで用いられていた倍精度浮動小数点演算を固定小数点演算に変更し、最適化の結果から小数部の bit 長は 16 bit にし、メモリ及びレジスタの使用量を共に 70% 以上削減した。また、固定小数点演算を採用した多並列識別アーキテクチャの識別性能検証及び FPGA 実装を行い、倍精度浮動小数点演算と同等の識別精度とスループット約 20fps 以上を実現した。また、高速かつ柔軟な全画面認識手法として複数サイズの Scan Window (SW) を利用したピラミッド階層的識別手法を提案した。本手法は複数の階層を用いることにより、腫瘍の大きさや形状にロバストな識別を可能とする。そして病理の 3 クラス識別が性能を十分に発揮できないボケを含んだ領域を認識する識別器に関しても検証を行い、疑似的なデータで学習しているにも関わらずボケ領域を一定の割合で認識することができた。これにより処理する SW 数を大幅に削減した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- [1] R. Miyaki, S. Yoshida, S. Tanaka, Y. Kominami, Y. Sanomura, T. Matsuo, S. Oka, B. Raytchev, T. Tamaki, T. Koide, K. Kaneda, M. Yoshihara and K. Chayama, "Quantitative identification of mucosal gastric cancer under magnifying endoscopy with flexible spectral imaging color enhancement", Journal of Gastroenterology and Hepatology, Vol. 28, pp. 841-847, 2013, DOI 10.1111/jgh.12149, 査読有.
- [2] S. Sasaki, M. Yasuda, A. Kawabata, T. Koide, H. J. Mattausch, "High Speed Frequency-Mapping-Based Associative Memory Using Compact Multi-Bit Encoders and a Path-Selecting Scheme", Jpn. J. Appl. Phys. 51,2012, 04DE05,DOI:10.1143/JJAP.51.04DE05, 査読有.
- [3] T. Ansari, W. Imafuku, M. Yasuda, H. J. Mattausch, T. Koide, "Experimental Analysis of Within-Die Process Variation in 65 and 180 nm Complementary Metal-Oxide-Semiconductor Technology Including Its Distance Dependences", Jpn. J. Appl. Phys. 51 (2012) 04DE03, DOI: 10.1143/JJAP.51.04DE03, 査読有.
- [4] A. Fengwei, T. Koide, H. J. Mattausch, "A K-Means-Based Multi-Prototype High-Speed Learning System with FPGA-Implemented Coprocessor for 1-NN Searching", IEICE TRANS. INF. & SYST., VOL.E95-D, NO.9, pp.2327-2338, Sep. 2012, 査読有.
- [5] H. J. Mattausch, W. Imafuku, A. Kawabata, T. Ansari, M. Yasuda, and T. Koide, "Associative Memory for Nearest-Hamming-Distance Search Based on Frequency Mapping", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, VOL. 47, NO. 6, pp. 1448-1459, JUNE 2012, 査読有.
- [6] T. Kurafuji, M. Haraguchi, M. Nakajima, T. Nishijima, T. Tanizaki, H. Yamasaki, T. Sugimura, Y. Imai, M. Ishizaki, T. Kumaki, K. Murata, K. Yoshida, E. Shimomura, H. Noda, Y. Okuno, S. Kamijo, T. Koide, H. J. Mattausch, K. Arimoto, "A Scalable Massively Parallel Processor for Real-Time Image Processing", IEEE journal of solid-state circuits, Vol.46, No.10, pp.2363-2373 (2011.10), 査読有.
- [7] T. Kumaki, T. Koide, H. J. Mattausch, M. Tagami, M. Ishizaki, "Software-Based Parallel Cryptographic Solution with Massive-Parallel Memory-Embedded SIMD Matrix Architecture for Data-Storage Systems", IEICE Transactions on Information & Systems, Vol.E94-D.NO.9, pp.1742-1754 (2011.9), 査読有.

〔学会発表〕(計53件)

- [1] A.-T. Hoang, 山本真晴, 小出哲士, "Hardware Oriented Streaming Scan Architecture for Real-Time Traffic Sign Detection System", 第20回画像センシングシンポジウム, 2014年6月11日, 横浜.

- [2] 山本真晴, A.-T. Hoang, 小出哲士, "速度標識認識における小規模FPGA向けの数字認識アーキテクチャ", 第20回画像センシングシンポジウム, 2014年6月11日, 横浜.
- [3] 小出哲士, 三島翼, 重見悟, 杉幸樹, A.-T. Hoang, 他8名, "大腸内視鏡画像診断支援のためのリアルタイム特徴量抽出システムの開発", 第20回画像センシングシンポジウム, 2014年6月11日, 横浜.
- [4] 杉幸樹, 重見悟, 三島翼, A.-T. Hoang, 小出哲士, 他8名, "大腸NBI拡大内視鏡画像診断支援のための特徴量変換アーキテクチャの開発", 第20回画像センシングシンポジウム, 2014年6月11日, 横浜.
- [5] 小出哲士, 重見悟, 三島翼, 杉幸樹, A.-T. Hoang, 他8名, "Support Vector Machineを用いたピラミッド型識別器による大腸内視鏡画像の領域分類", 第20回画像センシングシンポジウム, 2014年6月11日, 横浜.
- [6] T. Mishima, S. Shigemi, A.-T. Hoang, T. Koide, 他8名, "FPGA Implementation of Feature Extraction for Colorectal Endoscopic Images with NBI Magnification", The IEEE International Symposium on Circuits and Systems 2014, June 1-5, 2014, Melbourne.
- [7] T. Mishima, S. Shigemi, A.-T. Hoang, T. Koide, 他8名, "Development of feature extraction architecture for computer-aided diagnosis system for colorectal endoscopic images with NBI Magnification," The 15th IEEE Hiroshima Student Symposium, Nov. 16-17, 2013, Tottori, Japan.
- [8] S. Shigemi, T. Mishima, A.-T. Hoang, T. Koide, 他8名, "Development of type identification architecture for computer-aided diagnosis system for colorectal endoscopic images with NBI Magnification," The 15th IEEE Hiroshima Student Symposium, Nov. 16-17, 2013, Tottori, Japan.
- [9] A.-T. Hoang, M. Yamamoto, M. Omori, T. Koide, "Pipeline architecture for real-time speed traffic-sign detection on FPGA," The 15th IEEE Hiroshima Student Symposium, Nov. 16-17, 2013, Tottori, Japan.
- [10] M. Yamamoto, A.-T. Hoang, M. Omori, T. Koide, "Number recognition algorithm using the local feature quantity for real-time speed traffic-sign recognition," The 15th IEEE Hiroshima Student Symposium, Nov. 16-17, 2013, Tottori, Japan.
- [11] 山本真晴, A.-T. Hoang, 大森睦己, 小出哲士, "局所特徴量を用いたリアルタイム速度標識認識アーキテクチャ", 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会, 2013年11月8日, 広島.
- [12] R. Miyaki, S. Yoshida, S. Tanaka, Y. Kominami, Y. Sanomura, T. Matsuo, S. Oka, Tsubasa Hirakawa, B. Raytchev, T. Tamaki, T. Mishima, S. Shigemi, T. Koide, K. Kaneda, M. Yoshihara, K. Chayama, "Usefulness of

- magnifying endoscopy with Blue LASER Imaging for diagnosis of early gastric cancer", American Society for Gastrointestinal Endoscopy (ASGE), October 29-30,2013,San Diego, USA.
- [13] A.-T. Hoang, M. Omori, M. Yamamoto and T. Koide, "Compact pipeline hardware architecture for pattern matching on real-time traffic signs detection", The 18th Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information Technologies, October 21-22, 2013, Hakodate, Japan.
- [14] M. Yamamoto, A.-T. Hoang, M. Omori, T. Koide, "Speed traffic-sign recognition algorithm for real-time driving assistant system", The 18th Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information Technologies, October 21-22, 2013, Hakodate, Japan.
- [15] T. Mishima, S. Shigemi, A.-T. Hoang, T. Koide, 他 8 名, "High speed approximation feature extraction in cad system for colorectal endoscopic images with nbi magnification", The 18th Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information Technologies, October 21-22, 2013, Hakodate, Japan.
- [16] S. Shigemi, T. Mishima, A.-T. Hoang, T. Koide, 他 8 名, "Customizable hardware architecture of support vector machine in cad system for colorectal endoscopic images with NBI magnification", The 18th Workshop on Synthesis And System Integration of Mixed Information Technologies, October 21-22, 2013, Hakodate, Japan.
- [17] T. Hirakawa, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, T. Koide, 他 8 名, "Labeling Colorectal NBI Zoom-Videoendoscope Image Sequences with MRF and SVM," The 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, July 3-7 2013, Osaka.
- [18] T. Hirakawa, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, T. Koide, 他 5 名, "Smoothing Posterior Probabilities with a Particle Filter of Dirichlet Distribution for Stabilizing Colorectal NBI Endoscopy Recognition," IEEE International Conference on Image Processing, September 15-18, 2013, Melbourne.
- [19] T. Mishima, S. Shigemi, A.-T. Hoang, T. Koide, 他 8 名, "A simple and effective hardware oriented feature extraction algorithm for colorectal endoscopic images with NBI magnification," The 28th International Conf. on Circuits / Systems, Computers and Comm. Yeosu, Korea, June 30-July 3 2013.
- [20] S. Shigemi, Y. Sakashita, T. Mishima, A.-T. Hoang, T. Koide, 他 8 名, "An FPGA implementation of support vector machine identifier for colorectal endoscopic images with NBI magnification," The 28th International Conf. on Circuits / Systems, Computers and Comm. Yeosu, Korea, June 30-July 3 2013.
- [21] Y. Kominami, S. Yoshida, S. Tanaka, R. Miyaki, Y. Sanomura, T. Matsuo, Hiroyuki Kanao, S. Oka, Tsubasa Hirakawa, T. Mishima, S. Shigemi, B. Raytchev, T. Tamaki, T. Koide, K. Kaneda, K. Chayama, "Quantitative analysis of NBI magnifying colonoscopy images based on Bag-of-Features for diagnosis of colorectal tumors", American Society for Gastrointestinal Endoscopy, May 18-21,2013, Orlando, USA.
- [22] M. Omori, H. Hiramoto, T. Koide, A.-T. Hoang, "Application of Composite Haar-like Features to Vehicle Detection with Massive-Parallel Memory-Embedded SIMD Matrix Processor," International Workshop on Nanodevice Technologies 2013, Hiroshima, Japan, March 5, 2013.
- [23] T. Mishima, S. Shigemi, Y. Sakashita, A.-T. Hoang, T. Koide, 他 7 名, "Consideration for Hardware Implementation of a Feature Extraction in Computer-Aided Diagnosis System for Colorectal Endoscopic Images with NBI Magnification," International Workshop on Nanodevice Technologies 2013, Hiroshima, Japan, March 5, 2013.
- [24] S. Shigemi, T. Mishima, Y. Sakashita, A.-T. Hoang, T. Koide, 他 7 名, "Consideration for Hardware Implementation of a Type Identification in Computer-Aided Diagnosis System for Colorectal Endoscopic Images with NBI Magnification," International Workshop on Nanodevice Technologies 2013, Hiroshima, Japan, March 5, 2013.
- [25] S. Yoshida, R. Miyaki, S. Tanaka, Y. Kominami, T. Matsuo, Y. Sanomura, S. Oka, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, T. Koide, M. Yoshihara, K. Chayama, S. Yoshida, R. Miyaki, S. Tanaka, Y. Kominami, T. Matsuo, Y. Sanomura, S. Oka, T. Tamaki, B. Raytchev, K. Kaneda, T. Koide, M. Yoshihara, K. Chayama, "COMPUTER AIDED DIAGNOSIS SYSTEM FOR PREDICTING MUCOSAL GASTRIC CANCER UNDER MAGNIFYING ENDOSCOPY WITH FLEXIBLE SPECTRAL IMAGING COLOR ENHANCEMENT," UEG Week Amsterdam 2012 (UEGWEEK2012), October 24, 2012. RAI, Amsterdam, Netherlands.
- [26] M. Omori, H. Hiramoto, T. Koide, H. J. Mattausch, "Application of Composite Haar-like Features to Vehicle Detection with Massive-Parallel Memory-Embedded SIMD Matrix Processor," The 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials, Kyoto, Japan, Sep 25-27, 2012.
- [27] F. An, H.J. Mattausch, T. Koide, "Real-time hybrid learning and recognition system with software-hardware cooperation", IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Phuket, Thailand, Dec. 7-11, 2011
- [28] S. Sasaki, M. Yasuda, A. Kawabata, T. Koide, H.J. Mattausch, "Compact Multi-Bit

Encoder for High Speed Frequency-Mapping Associative Memory", Extended Abstracts of the 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials, Nagoya, Japan, Sep. 28-30, 2011

[29] T. Ansari, W. Imafuku, M. Yasuda, S. Sasaki, H. J. Mattausch, T. Koide, "Experimental Comparison of Process Variation in 65nm and 180nm CMOS Using Ring Oscillators with Adjustable Delay", Extended Abstracts of the 2011 International Conference on Solid State Devices and Materials, Nagoya, Japan, Sep. 28-30, 2011.

[30] H. Hiramoto, T. Koide, H. J. Mattausch, T. Kumaki, "Application of Composite Haar-like features to Face Detection with Massive-Parallel Memory-Embedded SIMD Matrix Processor", The 26th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Comm., Gyeongju, Korea, June 19-22, 2011.

[31] M. Omori, T. Koide, H. J. Mattausch, "HW/SW Co-design of Region Growing Image Segmentation", The 26th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Comm., Gyeongju, Korea, June 19-22, 2011.

[32] H.J. Mattausch, M. Yasuda, A. Kawabata, W. Imafuku, T. Koide, "A 381 fs/bit, 51.7 nW/bit Nearest Hamming-Distance Search Circuit in 65 nm CMOS", The Symposia on VLSI Technology and Circuits (VLSI2011), Kyoto, Japan, July 13-17, 2011.

他、国内発表 21 件（紙面の関係で省略）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 8 件）

[1] 名称：内視鏡画像診断支援システム  
発明者：小出哲士，三島翼，重見悟，ホアン アイン トゥワン，玉木徹，平川翼，吉田重人，宮木理恵  
権利者：広島大学  
種類：特許

番号：特願 2014-022425

出願年月日：平成 26(2014)年 2 月 7 日

国内外の別：国内

[2] 名称：シンボル認識装置および車両用標識認識装置

発明者：小出哲士，ホアンアイントゥワン，山本真晴，三島翼

権利者：広島大学

種類：特許

番号：特願 2013-216403

出願年月日：平成 25(2013)年 10 月 17 日

国内外の別：国内

[3] 名称：シンボル認識装置

発明者：小出哲士，ホアンアイントゥワン，山本真晴，三島翼

権利者：広島大学

種類：特許

番号：特願 2013-203715

出願年月日：平成 25(2013)年 9 月 30 日

国内外の別：国内

[4] 名称：Digital Manhattan 距離連想メモリ  
発明者：マタウシュ ハンスユルゲン，小出哲士，佐々木静龍，赤澤智信

権利者：広島大学

種類：特許

番号：PCT/JP2013/060326

出願年月日：平成 25(2013)年 04 月 04 日

国内外の別：国外

[5] 名称：連想メモリ

発明者：小出哲士、マタウシュハンスユルゲン、安田雅浩、佐々木静龍

権利者：広島大学

種類：特許

番号：特願 2012-183975

出願年月日：平成 24(2012)年 08 月 23 日

国内外の別：国内

[6] 名称：連想メモリ

発明者：マタウシュ ハンスユルゲン，小出哲士，佐々木 静龍，赤澤 智信

権利者：広島大学

種類：特許

番号：US13/466381

出願年月日：平成 24(2012)年 05 月 08 日

国内外の別：国外

[7] 名称：車両用標識認識装置

発明者：小出哲士、大森睦己、磯本和典、中村正

権利者：マツダ株式会社

種類：特許

番号：特願 2012-285669

出願年月日：平成 24(2012)年 12 月 17 日

国内外の別：国内

[8] 名称：連想メモリ

発明者：マタウシュハンスユルゲン，小出哲士，安田雅浩，佐々木静龍

権利者：マツダ株式会社

種類：特許

番号：特願 2011-243733

出願年月日：平成 23(2011)年 11 月 7 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.RNBS.hiroshima-u.ac.jp/koide>

6. 研究組織

(1)研究代表者

小出 哲士 (KOIDE Tetsushi)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学  
研究所・准教授

研究者番号：30243596