

機関番号：14603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20700048

研究課題名（和文）車載向け高精度歩行者認識手法に関する研究

研究課題名（英文） Highly accurate pedestrian recognition for automotive applications

研究代表者

宮本 龍介 (Miyamoto Ryusuke)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：10452525

研究成果の概要（和文）：本研究では、提案されている手法の中で最も高精度な歩行者検出を実現するCoHOG特徴を用いた手法を実時間で実行するための並列処理方式の検討およびハードウェアアーキテクチャの提案を行った。これに加えて、マルコフ連鎖モンテカルロを用いて検出精度を劣化させずに演算量の削減を行う手法を提案した。検出に加えて、認識の実現に不可欠な追跡処理の精度を向上させるために、複数の手掛かりを用いた追跡手法提案を行い、マルチコアプロセッサを用いた実時間処理方式の提案も行った。最後に、検出と追跡を統合する手法を示し、本研究の成果を組み合わせることにより、高精度な実時間歩行者認識が実現可能であることを示した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we propose the parallel processing strategy suitable for NVIDIA GPUs, one of the most widely used multi-core processors, and FPGA to achieve real-time processing of the CoHOG-based pedestrian detection, which is required for accurate recognition in automotive applications. In addition, a novel computing scheme using MCMC which can reduce computational cost without degradation of detection accuracy. For a tracking scheme, which is indispensable for accurate recognition, a multiple cue-based scheme is proposed and its parallel implementation is also shown. Finally, a recognition scheme combining the detection and the tracking schemes is proposed, and it is shown that the highly accurate recognition scheme can be computed in real time.

交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2008年度 | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |
| 2009年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2010年度 | 600,000   | 180,000 | 780,000   |
|        |           |         |           |
|        |           |         |           |
| 総計     | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：画像認識、組込みシステム、車載、歩行者認識、歩行者検出、歩行者追跡

## 1. 研究開始当初の背景

車載用途における歩行者認識は、視点が認識対象から遠くかつ移動するという困難な条件に対応しなければならないという本質的に困難な問題を克服しなければならない。さらに、自動車に搭載される組込みシステムにおいて処理しなければならないという効率的な処理システムの構築が不可欠であり、これらの異なる2つの観点から問題に取り組みなければならない。

一般に、歩行者認識を含めて物体認識は、画像中から対象の物体を発見する検出処理と、一度検出した物体を時間方向に対応づける追跡処理から構成される。検出処理は画像からの特徴抽出および機械学習の技術を用いた識別処理によって実現される。追跡処理は、同様の特徴抽出に加えてカルマンフィルタやパーティクルフィルタ等の様々なフィルタ処理を用いて位置推定が行われる。特に、車載用途を対象とする場合、認識対象から遠く、さらに移動する視点からの映像を用いて処理を行わなければならないため、本質的に困難な問題となっている。

このような背景の下、さまざまな研究が行われているが、車載用途に適した検出手法および追跡手法は実現されていない。

上述の問題は、認識アルゴリズムに関するものであるが、実用上の問題として、このような認識処理を実時間で処理しなければならないという、システム上の問題もある。画像処理を対象とした並列処理方式や専用プロセッサの開発は古くから行われており、様々なものが今日に至るまで提案されている。しかし、近年の認識アルゴリズムは機械学習や統計処理の成果を適切に利用するため、従来のような古典的な画像に対するフィルタ処理は行わない。そのため、従来のアーキテクチャをそのまま最新のアルゴリズムに適用することは困難である。

このような問題を解決するため、車載向けのより実用的であり高精度な歩行者認識手法を実現するため、単純に精度向上を目指すのではなく、その並列性の解析、組込みシステムによる実現可能性を、マルチコアプロセッサを用いた並列実装や専用ハードウェアの試作によって評価しつつ、実装上の観点から効率的であり高精度な手法の実現を目指すという着想に至った。

## 2. 研究の目的

検出手法に関しては、様々な研究の発表が行われ、実用上の要求をある程度満たす精度

の手法が提案されつつある。しかし、その実時間処理に関する検討は不十分であったため、この問題に注力することとした。特に、検出手法の有する潜在的な並列性と実装コストの検討を詳細に行うことにより、同様の目的を持つ研究に対して良い事例を示すことを目的とした。

追跡手法に関しては、視点が追跡対象から遠くかつ移動する条件においても適切に動作しなければならないため、詳細な追跡対象のモデルを利用せずかつ背景差分やフレーム差分といった移動視点においては適用が困難な方式は利用しないという制約条件の下、高精度な追跡の実現を目指した。追跡手法の大きな枠組みとしては、良い精度を示すという研究成果が示されているパーティクルフィルタを採用し、特に性能向上に大きな影響を及ぼす遠い視点からの特徴抽出ならびに尤度計算手法の検討に注力した。また、追跡処理の処理速度を向上させることを考える場合、最も支配的な処理はここで検討を行う尤度計算過程となる。我々の目的は、追跡精度を向上させると同時にその実時間処理をも実現することであるので、提案手法の並列性の解析およびその実時間実装を、手法の提案と同時に目指した。

上述の検出と追跡を加えて認識処理を行うためには、検出結果を用いて追跡の初期状態を適切に設定する必要がある。しかし、このような検出と追跡の統合に関する研究は殆ど行われていない。本研究においては、パーティクルフィルタを用いた追跡を行うため、その枠組みに適した方式で検出と追跡を統合する方法を提案することを目指した。

## 3. 研究の方法

CoHOGを用いた歩行者検出手法をソフトウェアで実装し、プロファイルを取った。この時、学習に必要な教師データおよび評価に必要なテストデータにはダイムラーから提供されているデータセットおよびINRIAから提供されているデータセットを適宜用いた。プロファイル結果に基づき、支配的な処理を見極め、また、アルゴリズムの持つ本質的な並列性を分析し、可能な並列処理方式を検討した。並列実装の事例として、広く使われており、今後のさらなる発展が期待できるマルチコアプロセッサであるNVIDIA GPUを用いた並列実装および、専用プロセッサあるいはハードウェアエンジンの実現のための事例研究としてXilinx FPGAを用いた並列実装を行った。

並列処理による高速化に加えて、さらなる速度向上をおこなうために、マルコフ連鎖モンテカルロを用いた検出におけるサンプル数の削減を行った。一般に、検出処理においては、画像中の様々な大きさの様々な位置にある物体を検出するために、スライディングウィンドウ方式が用いられるが、提案サンプル数削減手法を適用することにより、精度を維持したまま、評価するウィンドウの和を削減することにより、処理速度の向上と精度の維持の両立を狙った。この評価にはINRIAから提供されているテストセットを用い、検出精度の評価を行った。

追跡手法の高性能化に関しては、従来カラー情報を用いた追跡に用いられていたHSVヒストグラムによる尤度計算に加えて、検出処理において提案されているHOG特徴を用いた尤度計算を組み合わせ、複数の手掛かりを用いた尤度計算を行った。精度の評価にはPETSから提供されているシーケンスを用いた。また、並列処理手法の検討を行い、NVIDIA GPUを用いた並列実装を行った。

最後に、検出と追跡をパーティクルフィルタの枠組みを用いて適切に統合するために、検出結果からプロポザル分布を生成する方式の検討を行った。追跡と統合の検証には独自に撮影した動画シーケンスを用いて行った。

#### 4. 研究成果

NVIDIA GPU TeslaC1060 を用いたCoHOGを用いた歩行者検出の並列実装の結果、Intel Core i7 3.2GHz を用いた場合と比較して、検出処理は約 76 倍高速となり、QVGA画像の場合、16.5fpsで処理可能であることが分かった。Xilinx Virtex5 LX330 を用いた並列実装の結果、FPGA の回路使用率が20%の場合において、同じくIntel Core i7 3.2GHz と比較した場合、100 倍以上高速な処理が可能となり、QVGA画像の場合、38fpsで処理可能であることを示した。このFPGA実装は、回路規模の見積もりを行っただけでなく、PCIExpressバスによってPCと接続可能なように周辺回路の実装も行い、USBカメラから得られた画像を用いて実時間歩行者検出のデモンストレーションが可能なシステムを構築した。このデモンストレーションシステムはDSPS教育者会議において高い評価を受け、IEEE CAS Japan ChapterよりBest Student Demonstration Awardを受賞した。また、これと独立に行った、サンプル数削減手法であるマルコフ連鎖モンテカルロを用いた場合、精度を維持したまま約 1.7 倍高速に処理可能であることを示した。

追跡処理に関しては、HOG特徴とHSVヒストグラムという性質の異なる複数の手掛かりを組み合わせ、尤度計算を行うことにより、HSVヒストグラムあるいはHOG特徴単体では

追跡が困難なシーンにおいても適切に追跡が可能であることを示した。ただし、この追跡手法には、手動で決定しなければならない幾つかのパラメタがあり、追跡精度がそのパラメタに依存するという問題がある。従って、今後は、動的にパラメタを決定する手法を検討しなければならない。次に、実時間処理を目指した並列実装に関してであるが、NVIDIA Tesla C1060 上に並列実装を行うことにより、Intel Core i7 3.2GHz プロセッサと比較した場合、約 8.8 倍高速に処理可能となり、1 フレームあたり 13.8msで処理可能となった。これにより、数個の追跡対象であれば、実時間で処理可能であることが示された。

最後に、検出と追跡の統合であるが、提案手法においては、歩行者検出の結果得られる分離平面との距離を追跡過程におけるプロポザル分布として用いる。一般に、検出結果は全ての画素に対して得られるものではないため、この計算の結果得られる尤度を適当な関数で畳み込むことにより、密な尤度マップを生成し、その結果をプロポザル分布としている。このようにすることにより、適切に検出と追跡の統合が可能であることを、実画像シーケンスを用いた実験によって実証を行った。また、この提案手法が、GPUを用いた並列実装および専用ハードウェアエンジンを組み合わせることにより、実時間で処理可能であることを示した。

#### 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 4 件)

1. Ryusuke Miyamoto, Hiroki Sugano, Hiroyuki Ochi, Yukihiro Nakamura, “Hardware Accelerator for Robust Object Tracking Using Cascade Particle Filter”, Journal of Signal Processing, 2011, 査読有, 採録決定
2. Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, “Highly Optimized Implementation of OpenCV for the Cell Broadband Engine”, Computer Vision and Image Understanding, 114 巻, 1273-1281, 2010, 査読有
3. Hiroki Sugano, Hiroyuki Ochi, Yukihiro Nakamura, Ryusuke Miyamoto, “Hardware Accelerator for Run-Time Learning Adopted in Object Recognition with Cascade Particle Filter”, IEICE Transactions on Fundamentals, E92-A 巻, 2801-2808, 2009, 査読有
4. Masayuki Hiromoto, Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, “Partially Parallel Architecture for AdaBoost-Based Detection With Haar-Like Features”,

- IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 19 巻, 41-52, 2009, 査読有  
[学会発表] (計 28 件)
1. Jaehoon Yu, Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, Takao Onoye, “Computationally Efficient Pedestrian Detection based on Markov Chain Monte Carlo”, APSIPA ASC 2010, 2010.12.17, Singapore
  2. Jaehoon Yu, Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, Takao Onoye, “GPU Implementation of Efficient Pedestrian Detection Based on MCMC”, SCIS & ISIS2010, 2010.12.12, Okayama
  3. 菅野 裕揮, 宮本 龍介, 高精度な歩行者認識を実現するための歩行者検出と追跡処理の統合に関する検討, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, 2010.12.3, 奈良市
  4. Takehiro Ishiguro, Ryusuke Miyamoto, Minoru Okada, “Feasibility study of pedestrian tracking from a moving camera using A system model with motion information”, WAC2010, 2010.9.22, Kobe
  5. Takehiro Ishiguro, Ryusuke Miyamoto, Minoru Okada, “GPU Implementation of Pedestrian Tracking based on Particle Filter for On-Board Camera”, SISA2010, 2010.9.8, Manila
  6. Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, “Optimized Implementation of CoHOG-Based Pedestrian Detection for GPU”, SISA2010, 2010.9.8, Manila
  7. Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, Yukihiro Nakamura, “Optimized Parallel Implementation of Pedestrian Tracking Using HOG Features on GPU”, Prime2010, 2010.7.20, Berlin
  8. 劉 載勳, 菅野 裕揮, 宮本 龍介, 尾上 孝雄, MCMC を用いた効率的な歩行者認識に関する研究, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, 2010.6.10, 網走市
  9. 菅野 裕揮, 宮本 龍介, CoHOG を用いた歩行者検出手法の GPU 向け並列実装, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, 2010.6.10, 網走市
  10. Takehiro Ishiguro, Ryusuke Miyamoto, “An Efficient Prediction Scheme for Pedestrian Tracking with Cascade Particle Filter and Its Implementation on Cell/B.E.”, ISPACS2009, 2009.12.7, Kanazawa
  11. Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, “Hardware Implementation of a Cascade Particle Filter”, ICIP2009, 2009.11.10, Cairo
  12. Masayuki Hiromoto, Ryusuke Miyamoto, “Cascade Classifier Using Divided CoHOG Features for Rapid Pedestrian Detection”, ICVS2009, 2009.10.14, Liege
  13. Masayuki Hiromoto, Ryusuke Miyamoto, “Hardware Architecture for High-Accuracy Real-Time Pedestrian Detection with CoHOG Features”, ICCVW2009, 2009.10.3, Kyoto
  14. Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, “Parallel Implementation of Pedestrian Tracking Using Multiple Cues on GPGPU”, ICCVW2009, 2009.10.3, Kyoto
  15. 宮本 龍介, HSV ヒストグラムと HOG 特徴を利用した歩行者追跡, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2009.9.15, 新潟
  16. 菅野 裕揮, 宮本 龍介, HOG特徴量を用いた歩行者追跡手法のGPGPUへの並列実装, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2009.9.15, 新潟
  17. Ryoji Kadota, Hiroki Sugano, Masayuki Hiromoto, Hiroyuki Ochi, Ryusuke Miyamoto, Yukihiro Nakamura, “Hardware Architecture for HOG Feature Extraction”, IIHMSP2009, 2009.9.13, Kyoto
  18. Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, “Parallel Implementation of Computation of Good Features to Track on the Cell Processor with OpenCV Interface”, IIHMSP2009, 2009.9.13, Kyoto
  19. 廣本 正之, 宮本 龍介, CoHOGを用いた歩行者検出の実時間実装, DSPS 教育者会議, 2009.9.11, 東京
  20. 石黒 剛大, 宮本 龍介, 遠い視点からの歩行者追跡に適した特徴抽出手法の検討, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, 2009.6.11, 沖縄
  21. 門田 亮二, 中村 行宏, 宮本 龍介, 実時間歩行者認識に向けた HOG 特徴抽出のハードウェア実装, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, 2009.6.11, 沖縄
  22. 菅野 裕揮, 宮本 龍介, Harris 作用素による特徴点抽出手法の Cell Broadband Engine への並列実装, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, 2009.6.11, 沖縄
  23. Hiroki Sugano, Hiroyuki Ochi, Yukihiro Nakamura, Ryusuke Miyamoto, “Hardware Implementation of Discrete AdaBoost

- Algorithm for Run-Time Learning of Object Recognition ” ,SISB2008, 2009.3.31, Okinawa
24. Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, “OpenCV implementation optimized for a Cell Broadband Engine processor” , IEEE DSP workshop, 2009.1.5, Marco Island
25. Hiroki Sugano, Ryusuke Miyamoto, “ Parallel Implementation of Morphological Processing by Arbitrary Kernels on Cell/BE with OpenCV Interface” , APCCAS2008, 2008.12.3, Macao
26. 菅野 裕揮, 原 悠記, 越智 裕之, 宮本 龍介, 多段粒子フィルタを用いた物体認識の Cell Broadband Engine への並列実装, 信号処理シンポジウム, 2008.11.12, 金沢
27. 木村 和紀, 越智 裕之, 宮本 龍介, 物体認識における実行時学習のハードウェア実装, 電子情報通信学会スマートインフオメディアシステム研究会, 2008.6.12, 旭川
28. 菅野 裕揮, 中村 行宏, 宮本 龍介, 多段粒子フィルタを用いた物体認識の並列実装, 電子情報通信学会スマートインフオメディアシステム研究会, 2008.6.12, 旭川

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

宮本 龍介 (Miyamoto Ryusuke)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：10452525

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：