

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 6 日現在

機関番号：17104
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22500158
 研究課題名（和文）自動車キャビン内センサによる運転者挙動の推定と運転意図推測による安全運転支援
 研究課題名（英文）Safety driving support by driver's behavior estimation and driving intention inference based on inside cabin sensors
 研究代表者
 生駒 哲一（IKOMA NORIKAZU）
 九州工業大学・工学研究院・准教授
 研究者番号：40281282

研究成果の概要（和文）：

自動車キャビン内の運転者の挙動推定として、観察行動を行う顔の姿勢、運転操作を行う両手の挙動および足の挙動に着目し、ドライビングシミュレータ環境にて、顔の姿勢および両手の挙動をリアルタイムに推定する方法を提案し、実時間で動作するデモシステムを構築した。GPGPUの並列計算による高速化を提案し、両手挙動の推定に適用した。

研究成果の概要（英文）：

Focusing on face posture as observation behavior and both hands motion and foot motion as operation behavior of a car driver in car cabin, face posture and both hands' motion estimation in real-time have been proposed in driving simulator environment and they have been implemented in a demonstration system. Fast parallel computation with GPGPU has been proposed and applied to the both hands' motion estimation in the demonstration system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度	0	0	0
年度	0	0	0
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

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：センサ融合・統合，パーティクルフィルタ

1. 研究開始当初の背景

(1) 自動車に高機能センサを搭載して高付加価値の安全運転支援を行う方法が研究され、いくつかは実用にも供されている状況であった。しかし高機能センサは、取得した信号がすぐさま利用可能な情報となる訳ではなく、高度な信号処理を要する場合が多い。またそれらの処理は100%正しい結果が得られる訳ではなく、検出の誤りとして、誤った箇所に検出してしまいう「誤検出」や、検

出すべきなのに検出できない「欠損」が生じ得る。また、検出結果は誤差を含んでいる。更には、多数のセンサの情報をどのように融合するかというセンサフュージョンの問題もある。

(2) このように多様な誤差を含む高機能センサの信号処理には、パーティクルフィルタと総称される手法が効果的である。パーティクルフィルタとは、状態空間モデルで表された動的システムの状態推定手法で、状態空間

中の多数の点（パーティクル，粒子）の数値計算にて実用的な近似解を得る手法である。線形・ガウス状態空間モデルに限定されるカルマンフィルタと比べ，パーティクルフィルタは非線形・非ガウス，連続と離散のハイブリッドシステムといった，より広いクラスの状態空間モデルに対しても状態推定が可能である。基本的機能のノイズ除去ばかりでなく，ベイズ推定に基づく不良設定問題（少ない観測からの情報復元）や，推定項目より観測項目の方が多しセンサフュージョンも比較的容易に実施可能である。時間更新アルゴリズムであるため，リアルタイム性も高く，アルゴリズムに工夫をすれば，計算量は粒子数のオーダーで済む。

(3) パーティクルフィルタは，数学的にはモデル所与の下で最適な結果を出力するが，実際の課題における性能の良否は「いかに良いモデルを構築するか」にかかっている。最近では，自動運転の競技や，安全運転支援の大規模プロジェクトなど，自動車の高機能化に関する注目が高まってきている。その中で，自動車技術と自律移動ロボットには共通点が多いことも理解されるようになってきた。これはつまり，自律移動ロボットの分野で培われてきた各種の技法が，自動車の分野へ適用可能という事である。ただし，自動車は交通という社会の中で運用し，人が乗って運転するという点が，自律移動ロボットとは異なる。また，自動車は高速に移動するので，高いリアルタイム性が要求される。また安全の面からは，高い信頼性も要求される。人の運転を支援するという観点からは，人とマシンとの協調を高いリアルタイム性で行うことや，明示的でないコミュニケーション下でのマシンによる人の意図理解といった点も重要である。これらの背景の下，自動車技術会等でもパーティクルフィルタへの関心が高まっており，これを用いた開発研究の報告もなされるようになってきた。

2. 研究の目的

(1) 動画カメラなど複数の高機能センサを自動車キャビン内に搭載して運転者を観測し，運転者の包括的な挙動をリアルタイムに推定する方法を探究し，実システムとして具現化する。

(2) 推定した運転者の挙動を，車載の外界センサ情報から得られる自車両周辺の状況と照合し，運転者が認識している外界の状況，運転の意図，および運転者の心理状態を推定する方法論を構築する。

(3) 更に，車-車間通信や車-インフラ間通信等のITS技術を援用して，自車周辺の詳細な交通状況をリアルタイムに把握し，安全運転支援を行う方法論を考案する。

(4) アプローチとしては，当該問題につい

て特に工夫し設計された状態空間モデルと，並列計算で高速に実装されたパーティクルフィルタアルゴリズムによる状態推定に基づく。

(5) これらの方法論に基づく安全運転支援の為の各種アプリケーションの提案も行う。

3. 研究の方法

ドライビングシミュレータ(DS)の運転席に配置した顔カメラ，手元センサ，足元センサ等の信号から，運転者の包括的な挙動を推定する状態空間モデルを考案し，推定をリアルタイムに実行するシステムを構築する。次にDSのエミュレートによる外界センサから自車周辺の交通状況を得て，これを運転者挙動と照合し，運転者が知覚している周辺交通を推定するモデルを構築する。また，運転者挙動と周辺交通状況から，運転者の意図および心理状態を推定するモデルを構築する。更に，車-車間通信や車-インフラ間通信等のITS技術を援用して，自車周辺の詳細な交通状況をリアルタイムに把握し，安全運転支援を行う方法論を考案する。上述と並行して，これらをリアルタイムで行うために必要な，パーティクルフィルタの高速化を行い，メニーコアCPUの並列計算に実装し，多数の粒子を使い十分な精度を保ったままで，高いリアルタイム性を実現する。これらのモデルおよび実装技術を効果的に用いた安全運転支援の各種アプリケーションを考案する。

4. 研究成果

(1) 運転者挙動のリアルタイム推定

まず，ドライビングシミュレータの運転席に各種のセンサを配置し，カメラ画像等の信号の取得が可能な実験システムを構築した。センサとしては，顔カメラ，手元カメラ，足元センサがあり，各々個別のPCから信号を取得する。成果は**学会発表 - ⑭**にて公表している。それぞれの信号から，運転者の観察行動である顔の姿勢，運転行動である両手の挙動，および，運転行動である足の挙動を推定する状態空間モデルを考案した。顔の姿勢および両手の挙動については，推定をリアルタイムに実行する実験システムを構築した。成果は**雑誌論文 - ①**および**学会発表 - ④**にて公表している。

顔の姿勢推定については，元来は6自由度(x, y, zおよび3つの回転)である顔姿勢のうち3自由度(x, y, および首の回転)に限定して問題を簡略化し，更に，両目の位置に着目した顔姿勢推定の方法を提案した。その成果は，**学会発表 - ⑮**にて公表している。当初提案したモデルは，首の回転軸が両目の中心に位置していた為，後にこれを改良した。首の回転軸を，実際的な位置に変更したモデルを提案し，より精度の高い推定が可能とな

生野賢一, "パーティクルフィルタによる運転者の顔姿勢のリアルタイム推定",
自動車技術会2012秋大会(第47回)論文要旨集, pp.31-26, 2012.

運転者の顔姿勢の推定



つた. 成果は学会発表 - ④にて公表した.

また, 上述の成果に基づき, 運転者の挙動推定とは別のエンタメ向けのアプリケーションが可能であることから, 動画像において顔を美化する研究に当該技術を転用し, 顔の美化を動画像において実時間で行うシステムを構築した. 成果は雑誌論文 - ①および学会発表 - ⑥⑧⑨にて公表している.

Norikazu Rikoma and Gafan Zhang, "Real-time Face Decoration in Video based on Face Posture Estimation by Particle Filter",
Proc. of 5th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications, Paper No.49, 2012.

動画像での顔装飾アミューズメント

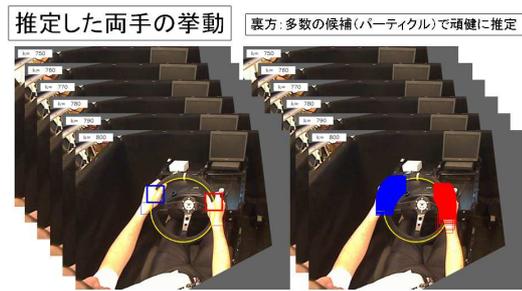


両手の挙動については, まずはステアリング上の握り位置(左右)を肌色に基づき推定するモデルを構築し, 両手の交差等が生じない簡単なシーンについて, その性能を確認した. その成果は学会発表 - ⑩にて公表している. その後, より複雑な運転挙動シーンに対応する為, 手首の位置を推定し, それを腕の向きに代用することで, 反対側の手腕領域を消去した画像を生成して, 片方の手のみを効果的に追跡する方法を提案した. また, 片手運転や両手放し運転の状況にも対応する為, 尤度の値に応じた判定方法を提案し, 片手運転や手放し運転を判別できるように改良した. 成果は雑誌論文 - ①および学会発表 - ②④にて公表している.

足の挙動推定では, ペダルを操作する前の情報を取得することを目的として, マイクロ波のドップラ効果に基づく信号波形が動体の速さに比例した周波数を持つ性質を利用して, 信号から足の挙動を推定する方法につ

Norikazu Rikoma, "Real-Time Motion Estimation of Car Driver's Hands and Arm's Direction in Vision under Possible Mutual Occlusion by Particle Filter",
Abstract Book of Soft Computing and Intelligent Systems and its Application to Car Driver's Footmotion Estimation",
Proc. of SICE Annual Conference 2010, pp.1235-1236, 2010.

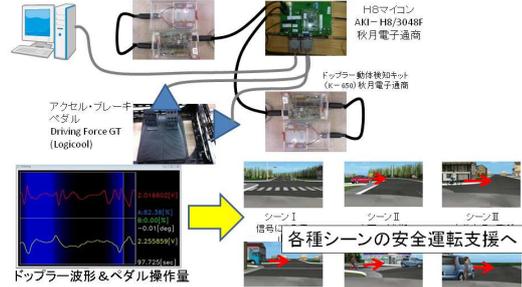
運転者の両手挙動の推定



N. Rikoma, R. Nagayama, H. Kumamoto, and N. Nishiyama, "Frequency and amplitude estimation in microwave Doppler signal and its application to car driver's footmotion estimation",
Proc. of SICE Annual Conference 2010, pp.1235-1236, 2010.

運転者の足挙動の推定

ペダル操作に表れない運転者の意志・迷いなどを検知し, 安全運転支援につなげる



いて検討を行った. 成果は学会発表 - ⑤⑬にて公表している.

(2) パーティクルフィルタの並列高速実装

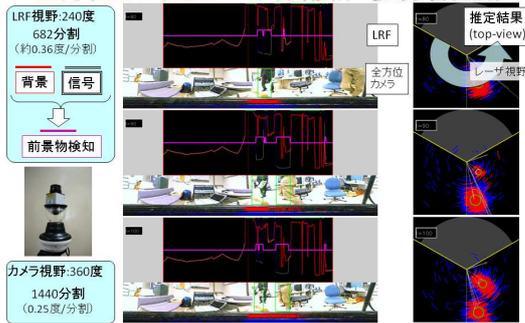
パーティクルフィルタの並列実装として, まず, ヘテロジニアスなマルチコアCPUであるCell Broadband Engine に対し, 最大8並列の計算を行う実装方法を提案した. 成果は, 雑誌論文 - ③にて公表している. また, ホモジニアスなマルチコアCPUでの並列実装についても検討し, 成果を学会発表 - ⑫にて公表している.

上記で得た知見に基づき, グラフィックボードの持つ多数の計算要素を汎用な科学技術計算に用いるGPGPUに, パーティクルフィルタの並列計算を効果的に実装する方法を提案し, 特定色物体の追跡課題と, 運転者の両手挙動推定の課題に対して, 実装を行い, 性能を評価した. 成果は, 学会発表 - ①および学会発表 - ⑩にて公表している.

FPGAボードにて, パーティクルフィルタの計算をハードウェアのパイプライン処理や並列処理等により効果的に実行する方法については, 基本的なアルゴリズムの開発を進め, 画像処理を行う部分の開発も進めた. 今後の見通しとしては, これら2つの部分を結合することで, パーティクルフィルタによる動画像追跡をハードウェアで行う事が可能となり, 関連する実験や新しい方法論の開発が進められる環境が整う見込みである.

N. Ikoma, "Multiple pedestrian tracking with composite sensor of laser range finder and omni-directional camera by SMC implementation of PHD filter", 6th Int'l Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems and 13th Int'l Sympo. on advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2012), pp.705-710, 2012.

全方位カメラとレーザ距離計: 歩行者追跡



(3) インフラ設置センサによる歩行者の追跡とセンサフュージョン

センサフュージョン(センサ融合)による歩行者の追跡課題として, 360度の視野を持つ全方位カメラの画像と, 240度の広角視野を持つレーザ距離計とを, 回転軸を合わせて結合して複合センサを構成し, これによるセンシング信号から歩行者を追跡する方法を提案した. まずは単一の歩行者に対して, 実時間での追跡が可能な方法を提案し, 成果を学会発表 - ⑦にて公表している. その結果を受けて, 複数の歩行者に対応できるようにアルゴリズムを拡張した. その成果は, 学会発表 - ③にて公表している.

以上の成果は, 各種のオープンイベントにて, デモシステムとして出展し, 一般の人たちが実際に体験できる形態で公開した.

生活を豊かにするセンサ信号処理~自動車運転シミュレータと運転挙動推定・動画での顔姿勢・自律走行ロボットなど

2012 オープンキャンパス: 体験型デモ



「安全運転支援を目指した運転者挙動のリアルタイム推定~パーティクルフィルタによるセンサ信号処理」

自動車技術会 2012 年 秋季大会 (大阪) 産学ポスターセッションにてパネル展示とデモ



「パーティクルフィルタが拓くリアルタイム状態推定の世界」

2012 年産学連携フェア(北九州学研都市)

テレビの取材も受けました ブース展示にてデモ



5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① **生駒 哲一**, "パーティクルフィルタによる運転者の顔姿勢および両手挙動の実時間推定", 自動車技術会論文集, Vol.44, No.3, pp.919-924, 2013, [査読あり](#).
- ② **Norikazu Ikoma** and Gefan Zhang, "Real-time Face Decorations of Enlarging Eyes and Whitening Skin in Video based on Face Posture Estimation by Particle Filter", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.17 No.3, pp.392-403, 2013, [査読あり](#).
- ③ **Norikazu Ikoma** and Akihiro Asahara, "Real time color object tracking on Cell Broadband Engine using particle filters", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.14 No.3, pp.272-280, 2010, [査読あり](#).

[学会発表] (計 15 件)

- ① **Norikazu Ikoma** and Takashi Ito, "GPGPU implementation of visual tracking by particle filter with pixel ratio likelihood", 2012 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), (Dec.17, 2012), Fukuoka (Japan), pp.889-894, 2012, [査読あり](#).
- ② **Norikazu Ikoma**, "Real-Time Motion Estimation of Car Driver's Hands and Arm's Direction in Vision under Possible Mutual Occlusion by Particle Filter", 6th Int'l Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems and 13th Int'l Sympo. on advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2012), (Nov.20-24, 2012), Kobe (Japan), pp.701-704, 2012, [査読あり](#).

- ③ **Norikazu Ikoma**, "Multiple pedestrians tracking with composite sensor of laser range finder and omni-directional camera by SMC implementation of PHD filter", 6th Int'l Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems and 13th Int'l Sympo. on advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2012), (Nov.20-24, 2012), Kobe (Japan), pp.705-710, 2012, 査読あり.
- ④ **生駒 哲一**, "パーティクルフィルタによる運転者の顔姿勢および両手挙動の実時間推定",自動車技術会 2012 年秋季大会 (大阪, Oct.3, 2012) 学術講演会前刷集, Vol.95-12, pp.21-26, 2012.
- ⑤ 北島 一樹, **生駒 哲一**, 河野 英昭, 前田 博, "マイクロ波ドップラ信号からの運転者足状態のリアルタイム判定",第28回ファジィシステムシンポジウム (名古屋, Sep.14, 2012) 講演予稿集, FN1-2, pp.484-487, 2012.
- ⑥ **Norikazu Ikoma** and Gefan Zhang, "Real-time Face Decorations in Video based on Face Posture Estimation by Particle Filter", Proc. of 5th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications, Sapporo (Japan), (Aug.21, 2012), Paper No.49, 2012. This paper has received the Best Paper Award of ISCIIA2012, 査読あり.
- ⑦ **Norikazu Ikoma**, "Sensor Fusion of Laser Range Finder and Omni-directional Camera for Tracking a Pedestrian by Particle Filter", Proc. of 2nd International Workshop on Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Suzhou (China), (Nov.22, 2011), CD-ROM Proceedings SS6-1, 2011, 査読あり.
- ⑧ Gefan Zhang, **Norikazu Ikoma**, Hideaki Kawano and Hiroshi Maeda, "Decoration of Human Face in Video Image by Estimating Eye Positions with Particle Filter", Proc. of Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference, Xi'an (China), (Oct.21,2011), PID:118, 2011,査読あり.
- ⑨ 張舸帆, **生駒哲一**, 河野英昭, 前田博, "パーティクルフィルタによる顔姿勢推定を用いた動画像に対する顔装飾", 第27回ファジィシステムシンポジウム講演予稿集, 福井(Sep.13-15, 2011), TE3-1, 2011.
- ⑩ 伊藤隆史, **生駒哲一**, 河野英昭, 前田博, "パーティクルフィルタの GPGPU への並列リアルタイム実装による動画像中の色物体追跡", 第27回ファジィシステムシンポジウム講演予稿集, 福井 (Sep.13-15, 2011), WE2-3, 2011.
- ⑪ **Norikazu Ikoma**, "Visual tracking of both hands of car driver by particle filter", 5th Int'l Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th Int'l Sympo. on advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2010), (Dec.8-12, 2010), Okayama (Japan), pp.1547-1552, 2010, 査読あり.
- ⑫ 伊藤 隆史, **生駒 哲一**, 河野 英昭, 前田 博, "メニーコア CPU におけるパーティクルフィルタの並列リアルタイム実装", 第26回ファジィシステムシンポジウム, (Sep.13-15, 2010) 広島大学, pp.1252-1255, 2010.
- ⑬ **N.Ikoma**, R.Nagayama, H.Kumamoto, and N.Nishiyama, "Frequency and amplitude estimation in microwave Doppler signal and its application to car driver's foot motion estimation", Proc. of SICE Annual Conference 2010, Taipei (Taiwan), (Aug.18-21, 2010), pp.1235-1236, 2010, 査読あり.
- ⑭ **N.Ikoma**, Y.Tanaka, Y.Inokuchi, I.Miyasita, K.Kawamoto, and T.Nishida, "Car Driver's Body Motion Estimation for Safety Driving using Particle Filter", Proc. of 4th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications, Harbin (China), (Aug.2-8, 2010), pp.17-25, 2010, 査読あり.
- ⑮ **N.Ikoma**, Y.Chen, H.Kawano, and H.Maeda, "Real-time Estimation of Face Posture by Eyes detection and tracking with Particle Filter", Proc. of 4th International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications, Harbin (China), (Aug.2-8, 2010), pp.11-16, 2010, 査読あり.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

生駒 哲一 (IKOMA NORIKAZU)

九州工業大学・工学研究院・准教授

研究者番号：40281282