

平成 22 年 6 月 3 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19300067
 研究課題名（和文） 交差点事故を減らせ！固定型と移動型センサによるリアルタイムネットワークセンシング
 研究課題名（英文） Towards a road-vehicle based intersection sensing

研究代表者
 邵 肖偉 (Xiaowei Shao)

研究者番号：60401311

研究成果の概要（和文）：

本研究は交差点における安全検知のために、レーザスキャナを車に搭載した車載型センシングシステム、複数のネットワーク化したレーザスキャナを路側で異なる地点に設置し、固定型センシングシステム、または、車載型と固定型を融合した融合型センシングシステムを開発し、データの時空間統合、SLAMMODT、マルチレーザスキャナによる移動体の検知・トラッキングなどの要素技術を研究した。たま実証実験により、本提案システム手法の有効性を検証した。

研究成果の概要（英文）：

In order to improve intersection safety, a multi-modal intersection sensing system using laser scanners, which contains a vehicle-borne sub-system, a network sensing sub-system, and a road-vehicle fusion based sub-system, is developed, as well as the fundamental algorithms, such as data fusion, SLAMMODT, moving object detection and tracking etc. Through real experiments at a number of intersections, the system and algorithm efficiencies are studied.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	8,700,000	2,610,000	11,310,000
2008年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

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：車載センサ、移動体の識別と追跡、SLAM、レーザスキャナ、センサ融合、交通安全、路側センサ

1. 研究開始当初の背景

交通状況を自動的に調査・監視する方法として従来から超音波センサや誘導コイルなどのように、スポットで車両などを検知する

方式は実務的に利用されている。また、ミリ波レーダなど、障害物の検知や前方車両までの距離を計測することにより、危険状況を予測し、警報やアクティブブレーキをかけるな

どのような安全装置が開発された。一方、ビデオカメラなどの画像センサを利用して、人や車両を検知・識別し、その状態をトラッキングする手法がコンピュータビジョンや画像センシングなどの分野で多く研究されている。ビデオカメラは確かに「見ればわかる」という意味で大変役に立つ。しかし、人や車両の検知・識別・トラッキングに際して、オクルージョン、影、照明変化、計算コストなどに大きな難関がある。例えば移動体が交錯するときうまくトラッキングできないことが多い。交錯やオクルージョンを小さくするために高い位置から対象物を見下ろすように撮影することを要求されるのが一般である。ただし画素サイズや撮影範囲などの問題で、カメラの設置位置や角度が大きく制約され、簡易に設置することは困難の場合が多い。また、計算コストを減らし、精度を向上するため、例えば単一方向の車両など、検知対象や行動を制約した手法開発が多く見られる。

一方車両に搭載する装置では、移動体の距離や速度を正確に検知するため、ステレオカメラが多く利用される。しかし、屋外の環境では多くの影や隠蔽、まだ不安定なカメラジオメトリによる、抽出精度や頑健性などの面で、交差点のようにさまざまな移動体が交錯する空間での警報装置に実用できる精度には至らない。さらに、ある広がりを持つ空間をカバーするため、複数台のネットワーク化したセンサを利用する必要がある。複数台のカメラを連動し広域をカバーするのようなシステムが研究レベルで提案されたが、膨大な計算コストが必要になり、リアルタイムな実現は困難である。また、カメラ座標系間の正確なキャリブレーションも必要となり、これも実務的に最も困難な作業である。

一方、レーザスキャナは近年高性能化、低価格化、小型化が著しく、数十万円程度（プロ用ビデオカメラより安価）の価格で半径80m、180度の範囲で1秒間に37回程度、面的にスキャンするものが市場に出ている。こうしたセンサを車両に付け、衝突防止や周辺360度の交通状況をモニタリングする研究は、CMU大学のAutonomous Land Vehicle Project (NAVLAB) やULM大学のARGOSプロジェクトなどの研究グループで行われている。また体の不自由な方が駅など混雑な場所をスムーズに通過するために、レーザスキャナを車椅子に載せ、衝突などの事故を防止する研究もある。さらに米国DARPAが主催したGrand Challengeに参戦した自動走行車両らにレーザスキャナが広く搭載され、こうしたセンサは走

行路面や周辺状況の把握に有効であることが世間に強く印象を与えた。ただし、これらの研究ではレーザスキャナを車両に搭載し、走行車両周辺の交通状況をモニタリングするのが主な目的である。また交差点のような複雑な環境では、提案手法らの適用可能性がほとんど検証されていない。

2. 研究の目的

本研究は近年小型化・低廉化が著しく、環境変動に対して頑健なセンシングが可能なレーザスキャナを用い移動体をセンシングする。道路側に固定したセンサと車両に搭載したセンサを連動し、さらに地図と融合することにより、ある広がりを持つ空間における交通状況をリアルタイムに把握する手法を、特に交差点に焦点をあてて研究する。

3. 研究の方法

本研究は車載型（パターン1）、固定型（パターン2）および本融合型（パターン3）により研究開発を進んだ。ただし、環境側と車両側の通信は本研究の課題ではないため、既存手法を利用することになる。

[パターン1] 車載型安全検知システム

レーザスキャナは周辺の移動体を検知・トラッキングし、衝突する可能性があれば、警報を出し、ブレーキをかける、というようなストーリーをCMUのNAVLAB、ULMのARGOS、あるいはロボット工学の分野で、ロボットの衝突防止などの研究に良く見られる。ただし、歩行者、自転車、四輪車などは、それぞれ自分の行動パターンがあり、安全な活動範囲がある。例えば、歩行者が近くにいる。ただし、歩行者は歩道で歩いている限り、注意する必要があるが、警報あるいはブレーキをかける必要はない。また、曲がり角に自転車が走っている。スピードが速いから、車道に出る可能性もあり、特に要注意。などなど。移動体を検知するだけではなく、それは歩行者であるか車両であるかなどのように分類し、道路地図と融合した上で、それぞれの移動体、その状態および行動パターンに対して危険予測を行うのが必要である。こうした試みはこれまで国内外の研究で皆無である。本研究はこうした目標で研究を進んだ。

こうした研究目標に対して、走行中車両に搭載したセンサが計測したデータの中に、どれが移動体のデータか、どれが静止物体のデータかを見分けることは精度の決め手である。ただし、瞬間的なデータにより、それは移動体か静止物体かの判断に極めて限界があるた

め、連続に計測したデータを時空間的に解析し、確率的に最適な解を求める必要がある。一方、走行中の車両、あるいは搭載センサ、が地図上での位置姿勢を高精度に決めることも重要である。水平にスキャンするレーザスキャナを用い、同時に位置決めとマッピングを行う、SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)、という研究がロボット工学の分野で盛んに研究されている。ただし、SLAMは地面に起伏のない限られた環境で有効であるが、屋外環境での利用にGPS(Global Positioning System)、IMU(Inertial Measurement Unit)、車速エンコーダ、道路地図などとの融合が必要不可欠である。本研究はこうした課題に焦点を当てて、平成19年度に車載型システムと要素技術であるSLAMMODT(SLAM with Moving Object Detection Tracking)手法を研究開発し、実証実験をおこなった。

[パターン 2] 固定型交通状況モニタリングシステム

ある広がりを持つ空間をカバーするためには多数のセンサをネットワーク化する必要がある。そのため、各レーザスキャナを1台の小型PCで制御し、時刻を同期させる。各レーザスキャナの位置姿勢を地図上で決め、レーザスキャナの互いのカバー領域を歪みなく接合する。またレーザデータをリアルタイムでサーバーへ転送し、移動体の検知・識別・トラッキングを行う。こうしたシステムを交差点や道路で歩行者や車両のトラッキングに適用する際に、いくつかの課題を解決する必要がある。例えば、オクルージョン問題。レーザスキャナと対象物の相対的な位置姿勢が変化すると、同一対象物の異なる側面が計測される。四輪車などサイズが大きい物体に対して、取得したデータの形状が大きく変化する現象がある。複数のレーザスキャナが異なる地点から同じの空間を同時に計測する際に、こうした現象がダブルカウンティングや誤った推定に導く可能性がある。例えば、道路の両側に2台のレーザスキャナを設置した。1台の乗用車が真横に通過した瞬間に、2台のレーザスキャナがそれぞれ自分に近い乗用車の側面を計測した。そのデータは、2列の平行な直線になった点群であった。直線が離れたため、一般的なクラスタリング手法では、2つの物体(例えば、2台のバイク)のように、誤った判断になる可能性が高い。

本研究は上記問題に対して、データ計測特性により移動体の形状モデルを定義し、同じ移動体に対する計測データの時空間データ

アソシエーション方法を開発した。こうした方法により、移動体を検知、トラッキングした。平成20年度に固定型システムと要素技術であるマルチレーザスキャンデータにより移動体の検知、トラッキング手法を研究開発し、実証実験をおこなった。

[パターン 3] 融合型交通安全システム

車載型と固定型を融合し、システムフレームワークとして提案した。環境側に設置したレーザスキャナを広域における交通状況を把握することができる。ただし、オクルージョンなどの原因に走行車両の近くにいる移動体を必ずキャッチすることはできない。一方、車両に搭載したセンサでは、走行車両の近くにいる移動体をより確実にキャッチできるが、測定範囲が限られる。車載型と固定型が融合することにより、走行車両の周辺局所と交差点全域をより確実に交通状況を把握し、安全運転に支援できる。

本申請は車載型センサと固定型センサの融合に最も重要な課題は時空間座標系の統合、つまり、位置姿勢決めと時刻同期、に焦点をあてて研究開発を進み、実証実験を行った。

4. 研究成果

平成19年度の研究成果

- 1) 移動型レーザスキャナを用い、同時移動体の検知とトラッキングにより、高精度な位置決めとマッピング手法

移動型レーザスキャナを用い、同時位置決めとマッピングする手法を盛んに研究されている。ただし移動体が存在する環境では、移動体のデータは位置決めとマッピングの誤差或いは失敗につながり大きな原因である。本研究は交差点など歩行者や車両が常に存在する環境を対象に、移動体データを検知・除去しながら位置決めとマッピングする手法を開発した。

- 2) 移動型レーザスキャナを用い、位置決め、マッピングと同時移動体の検知・トラッキング手法

レーザスキャンのマッピングを用い、位置決め精度を補正し、マップ作成を行った。また同時にレーザスキャンがマップと差分することにより移動体を検知し、トラッキングを行った。こうしたフレームワークを開発した。

- 3) レーザスキャナ/GPS/IMUを融合した位置

決め手法

レーザスキャナにより位置決めとマッピングを地球座標系に位置づけるため、また屋外のような複雑な環境でもロバストに効率に実現できるため、GPS、IMU、車速エンコーダーなどとの融合が必要不可欠である。こうしたセンサ・データ融合により位置決め手法を開発した。

平成20年度の研究成果

4) 分散型レーザスキャンデータの融合手法

異なるセンサが計測したデータを同時に扱うため、時刻同期と座標系キャリブレーションし、座標系統合手法を開発した。

5) 移動体の検知手法

同じ移動体に対して、複数のレーザスキャナが異なる地点から同時に計測されることがある。こうした現象がダブルカウンティングや誤った推定に導く可能性がある。また、乱反射や低反射率ものにより、データの断片性や不連続性がある。こうした問題を解決するために、移動体の形状モデルを定義し、移動体の検知手法を開発した。

6) 移動体のトラッキング手法

連続時刻で計測した同じ移動体のデータをアソシエーションし、移動体の速度、方向などの状態パラメータを推定する手法を開発した。

平成21年度の研究成果

7) 車載型と固定型システムの時空間統合手法

固定センサらが計測した静止物体のデータによりマップ（背景マップと呼ぶ）を作成する。次に車載センサが計測したデータを背景マップとマッチングし、位置姿勢を決める（マップアシスト位置姿勢決め）手法を開発した。

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2件）

査読付き学雑誌論文

1. Zhao, H. Chiba, M., Shibasaki, R., Shao, X., Cui, J., Zha, H., A laser scanner based

approach towards driving safety and traffic data collection, IEEE Trans. Intelligent Transportation System, vol.10, no.3, 534-546, 2009.

2. Zhao, H., Cui, J., Zha, H., Katabira, K., Shao, X., Shibasaki, R., Sensing an intersection using a network of laser scanners and video cameras, IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine, vol.1, no.2, 31-37, 2009.

〔学会発表〕（計12件）

査読付き国際学会発表論文

1. Zhao, H., Zhang, Q., Chiba, M., Shibasaki, R., Cui, J., Zha, H., Moving Object Classification using Horizontal Laser Scan Data, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 2424-2430, 2009.
2. Zhao, H., Cui, J., Zha, H., Katabira, K., Shao, X., Shibasaki, R., 2008, Monitoring an intersection using a network of laser scanners, Proc. IEEE Int. Conf. on Intelligent Transportation Systems (ITSC08), 428-433, 2008.
3. Zhao, H., Chiba, M., Shibasaki, R., Katabira, K., Cui, J., Zha, H., Driving Safety and Traffic Data Collection - A Laser Scanner Based Approach, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 329-336, 2008.
4. Zhao, H., Chiba, M., Shibasaki, R., Shao, X., Cui, J., Zha, H., SLAM in a Dynamic Large Outdoor Environment using a Laser Scanner, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), pp.1455-1462, 2008.
5. Shao, X., Zhao, H., Katabira, K., Shibasaki, R., Nakagawa, Y., Tracking a Variable Number of Pedestrians in Crowded Scenes by using Laser Range Scanners, Proc. IEEE Int. Conf. Systems, Man and Cybernetics, 1545-1551, 2008.
6. Zhao, H., Chen, Y., Shao, X., Katabira, K., Shibasaki, R., Monitoring a populated environment using single-row laser range scanners from a mobile platform, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), 2007.
7. Shao, X., Zhao, H., Nakamura, K., Katabira, K., Shibasaki, R., Nakagawa, Y., Detection and Tracking of Multiple Pedestrians by Using Laser Range Scanners, Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS07).

査読なし国際学会発表論文

8. Shao, X., Katabira, K., Shibasaki, R., 3D Surveillance of People by Using Swinging Laser Scanner, The 30th

- Asian Conference On Remote Sensing (ACRS), 2009.
9. Shao, X., Zhao, H., K., Katabira, K., Shibasaki, R., Nakagawa, Y. Tracking Multiple Pedestrians by Using Laser Range Scanners, The 28th Asian Conference On Remote Sensing (ACRS), 2007.

査読なし国内学会発表論文

10. 趙卉菁、邵肖偉、帷子京市郎、柴崎亮介、レーザスキャナを用いた車の安全検知への試みー移動型レーザスキャナを用いた移動体の検知とトラッキング、第6回ITSシンポジウム、2007
11. 趙卉菁、陳羽中、邵肖偉、帷子京市郎、柴崎亮介、移動型レーザスキャナを用いた広域における歩行者計測手法、第13回画像センシングシンポジウム、2007
12. 岡田尚樹、趙卉菁、柴崎亮介、帷子京市郎、レーザスキャナを用いた移動ロボットの自己位置推定と地図構築、第14回画像センシングシンポジウム、2008

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称：基于多激光扫描仪的数据融合方法及系统

発明者：趙卉菁、柴崎亮介

権利者：北京大学、柴崎亮介

種類：発明

番号：200810171317.6

出願年月日：2008.10.12

国内外の別：外国

名称：基于多激光扫描仪的移动目标跟踪方法及系统

発明者：趙卉菁、柴崎亮介

権利者：北京大学、柴崎亮介

種類：発明

番号：200810170194.4

出願年月日：2008.10.12

国内外の別：外国

6. 研究組織

(1) 研究代表者

(邵 肖偉)

研究者番号：60401311

(2) 研究分担者

(柴崎 亮介)

研究者番号：70206126