

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号： 18300058
 研究課題名（和文） ユビキタス車載カメラ群による3次元道路情報の復元
 研究課題名（英文） 3D Reconstruction from Ubiquitous Vehicle Cameras
 研究代表者
 佐藤 淳 (SATO JUN)
 名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：20303688

研究成果の概要：本研究では、複数の車両に搭載されたカメラを互いに協調することにより、ドライバー支援を行う技術を開発した。特に、複数の運動するカメラ間の相対的な位置や姿勢や相対運動と画像情報との間の関係を線形に記述する新たな多視点幾何理論を導き出すと共に、これを用いた3次元道路空間の復元法を開発した。さらに車両間でカメラ画像を協調することによりドライバーの死角を仮想的に除去する技術や、サイドミラー等の雨滴を仮想的に除去する技術を開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
2007年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2008年度	2,600,000	780,000	3,380,000
年度			
年度			
総計	12,200,000	3,660,000	15,860,000

研究分野：コンピュータビジョン

科研費の分科・細目：総合領域・情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン，多視点カメラ，多視点幾何，ユビキタスカメラ，任意視点映像生成，ITS

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、自動車の高度知能化が進展し、多くの市販車両に対してカメラが搭載されるようになってきた。したがって、道路上では多数のカメラが溢れるユビキタスカメラ群が構築されつつある。

(2) 一方、道路環境においては、ドライバーの知覚能力の限界などから事故が絶えない

ことから、ドライバーの感覚機能を補強するドライバー支援技術の開発が急務となっている。

2. 研究の目的

本研究では、道路上を日夜走行するカメラを搭載した車両群を、動くユビキタスカメラ群であると考えることにより、これらのカメラ群を協調させて、道路環境の3次元情報を

取得したりドライバーの感覚機能を補強する技術を開発することを目的とした。特に、運動するカメラ同士で情報統合を行ったり情報変換を行う上で不可欠な動的なカメラの校正や、カメラ間での情報協調技術の開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 運動する複数車両間でカメラ画像を協調するためには、カメラ間の相対的な位置姿勢や運動を求めることが不可欠である。そこで、これまでに明らかにされてきた多視点幾何理論を高次元空間に拡張することで、運動するカメラ間の関係を記述可能な新たな多視点幾何理論を構築する。

(2) 構築した新たな多視点幾何を基に、3次元道路環境を動的な運動情報を含めて復元する技術を開発する。また、車載カメラ間においてカメラ画像を補強し合うことにより、ドライバーの死角を仮想的に除去する技術や、雨滴等によって欠落した情報を補うことでドライバーの視覚を補強する技術を開発する。

4. 研究成果

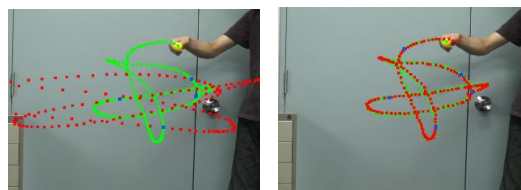
(1) 動的カメラのための多視点幾何理論

本研究では、まず、従来の多視点幾何理論を高次元空間に拡張することで、カメラ間の静的な関係の記述にとどまっていた多視点幾何理論を、カメラ間の運動を含めた動的な関係を記述するより一般的な多視点幾何理論を導出した。

従来の多視点幾何理論では、3次元空間中の複数のカメラ間の関係を線形に記述することは可能であるが、運動するカメラ間の関係を記述することはできなかった。このため、運動するカメラ間において視点変換しようとする図 1(a)に示すように正しく視点変換(情報変換)ができなかった。また、これまでの多視点幾何では、各時刻において十分な数の対応点が観測されていなければ、カメラ間の位置姿勢を校正することができなかった。

この問題に対して、本研究では、空間に時間を加えた高次元空間において多視点幾何理論を構築することで、運動を含めたカメラ間の幾何学的な関係を一つの多視点幾何拘束式によって統一的に表現することに成功した。この新たな多視点幾何理論を用いることにより、図 1(b)に示すように、運動するカメラ間においても正しく視点変換(情報変換)が行えるようになり、車載カメラなどの動的カメラ間において画像協調を行うこと

が可能となった。



(a) 従来の多視点幾何 (b) 高次元多視点幾何
図 1 多視点幾何による視点変換

また、従来の多視点幾何拘束では、カメラの位置と姿勢の情報がテンソル(F行列、3焦点テンソル、4焦点テンソル)で表わされていたが、本研究で導出した新たな多視点幾何では、カメラの位置姿勢に加えてカメラの運動情報もテンソルによって表現することが可能となった。この結果、テンソルを分解することで、カメラの位置姿勢のみでなくカメラの運動情報も取り出すことができるようになった。

また、従来の多視点幾何では、同一時刻に十分な数の対応点がないとテンソルを計算することができなかった。これに対して、新たな多視点幾何では、時間と空間が成す4次元空間中の対応点を用いることから、必ずしも同一時刻に対応点が多数存在しなくてもテンソルの計算が可能である。これにより、対応点が各時刻において1点しか存在しない場合であっても、多視点幾何を計算することができ、カメラの位置姿勢と運動を計算することが可能となった。

この新たな多視点幾何理論は国内外で高く評価され、MIRU2007では特別セッション賞を受賞した。

(2) センサフュージョンのための多視点幾何理論

次に、先の多視点幾何理論をさらに一般化し、様々な種類のセンサ間において成り立つ極めて斬新な多視点幾何理論を導出した。これまでの多視点幾何理論は、全て2次元画像センサを対象としてきた。一方、様々なセンサを融合したセンサフュージョンにおいては、2次元画像センサのみでなく、1次元センサや3次元センサなどの様々なセンサの情報を統合する必要がある。そこで、どのような次元のセンサ情報でも組み合わせることが可能な新たな多視点幾何理論を構築した。この新たな多視点幾何を用いることにより、ラインセンサのような1次元センサと、2次元画像センサ、3次元レンジセンサなどを自由自在に組み合わせる3次元復元を行ったり、異なる種類のセンサ間において情報変換を行うことが可能となった。

この多視点幾何理論は現在考えうる多視

点幾何理論の中で最も一般的な多視点幾何理論であり、これまでに解析されてきた全ての多視点幾何理論がこの新たな多視点幾何理論に含まれる。従って、この新たな多視点幾何理論の応用範囲は極めて広く、今後、様々なセンシング技術において応用展開されていくものと考えられる。

(3) 高次元空間における多視点幾何を用いた時空間復元

以上の通り、高次元空間の多視点幾何理論により時間と空間の同時復元が可能となった。しかし、対応点を用いた復元法では密な空間の復元が難しい。そこで、高次元多視点幾何を応用することにより、画像の全画素を用いて空間の密な復元を行うことが可能なスペースタイムカービング法を新たに開発した。

近年、3次元空間を密に復元する方法としてスペースカービング法（空間削出し法）が開発されている。本研究では、このカービング法と高次元多視点幾何とを融合することにより、運動を含めた高次元空間をカービングすることで、3次元形状と3次元運動を同時に復元する方法を開発した。これをスペースタイムカービング法と呼ぶ。このスペースタイムカービング法により、対象物の3次元形状はもとより、対象物の3次元運動も密に復元することが可能となった。

このスペースタイムカービング法により、道路走行環境におけるダイナミックなイベント情報を密に復元することが可能となった。

(4) 車載カメラ協調による仮想死角映像の生成

複数車両間においてカメラの相対的な位置姿勢の情報が求まると、車両間においてカメラ画像を協調することが可能となる。そこで、複数車両間においてカメラ画像を協調することで、ドライバーの視覚を補強する技術を開発した。

交差点などでは他の車両や建物などによって視界が遮られ、ドライバーの視点からは様々な死角が生じる。このようなドライバーの死角は交通事故の大きな要因となることから、死角を除去することが望ましい。本研究では、一方の車両から死角となっている部分の画像情報を他の車両のカメラ画像で補うことにより、ドライバーの死角を仮想的に除去する技術を開発した（図2参照）。互いの車両が運動している状況下においても、カメラ間の幾何学的な関係を求めているために、適切な死角映像の生成が可能である。

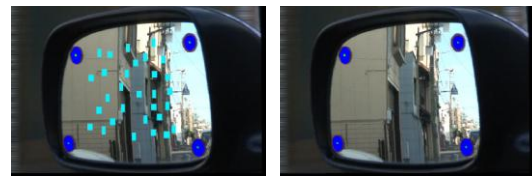


図2 仮想死角映像の生成

(5) 車両サイドミラーの仮想雨滴除去

単一のカメラ画像においても、時系列画像間で多視点幾何を考えることで、画像協調を行うことが可能である。そこで、複数時刻のカメラ画像間で情報補完することにより、ドライバーの視覚を補強する技術を開発した。

雨天時の事故発生はドライバーの視界が悪化することに大きな要因がある。特に雨滴がウィンドウやミラーに付着することで、ドライバーの視界は大きく妨げられる。そこで本研究では、サイドミラーをカメラにより連続的に観測して得られた時系列画像において多視点幾何を計算し、ある時刻において雨滴によって欠落した画像情報を他の時刻の画像情報によって補完することで雨滴を仮想的に除去することに成功した（図3参照）。



(a) 雨滴除去前 (b) 雨滴除去後
図3 仮想雨滴除去映像の生成

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計9件）

- ①小塚和紀, 佐藤淳, 多視点幾何による移動レンジセンサの三次元データ補正, 電子情報通信学会論文誌 Vol. J92-D, No. 3, pp. 393-404, 2009 (査読有) .
- ②C. Wan, J. Sato, Multiple View Geometry under Projective Projections in Space-Time, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E91-D, No. 9, pp. 2353-2359, 2008 (査読有) .
- ③Y. Piao, J. Sato, Computing Epipolar Geometry from Unsynchronized Cameras, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E91-D, No. 8, pp. 2171-2178, 2008 (査読有) .
- ④K. Kozuka, J. Sato, Rectification of 3D Data Obtained from Moving Range Sensor

by using Extended Projective Multiple View Geometry, International Journal of Automation and Computing, Vol. 5, No. 3, pp. 268-275, 2008 (査読有) .

- ⑤ 佐藤 淳, プロジェクタカメラの多視点幾何とその応用, 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. SIG6, pp. 56-67, 2008年 (査読有) .
- ⑥ 早川和孝, 佐藤 淳, 時空間における多視点幾何, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-D, No. 8, pp. 1878-1887, 2007年 (査読有) .
- ⑦ 西江 桂亮, 佐藤 淳, 未校正カメラと未校正プロジェクタによる3次元復元と仮想楽器への応用, 情報処理学会論文誌, Vol. 47, No. SIG10, pp. 49-58, 2006年 (査読有) .
- ⑧ Y. PIAO, K. HAYAKAWA, J. SATO, Space-Time Invariants for Recognizing 3D Motions from Arbitrary Viewpoints under Perspective Projection, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E89-D, No. 7, pp. 2268-2274, 2006 (査読有) .
- ⑨ J. Sato, Recovering Multiple View Geometry from Mutual Projections of Multiple Cameras, International Journal of Computer Vision, Vol. 66, No. 2, pp. 123-140, 2006 (査読有) .

[学会発表] (計16件)

- ① 野本恭平, 坂上文彦, 佐藤淳, エピポーラ幾何を用いた車両サイドミラーの仮想雨滴除去, 画像センシングシンポジウム, 横浜, 2009年6月.
- ② 稲垣雅彦, 坂上文彦, 佐藤淳, 車載マルチプロジェクタを用いた悪路走行支援のための路面形状強調提示, 画像センシングシンポジウム, 横浜, 2009年6月.
- ③ C. Wan, J. Sato, Computing Multiple View Geometry in Space-Time from Mutual Projections of Multiple Cameras, International Conference on Pattern Recognition, Tampa, USA, December, 2008.
- ④ F. Sakaue, J. Sato, Calibration of Projector-Camera Systems from Virtual Mutual Projection, International Conference on Pattern Recognition, Tampa, USA, December, 2008.
- ⑤ 高見 政明, 坂上 文彦, 佐藤 淳, スペースタイムカービングによる形状と運動の復元, 画像の認識・理解シンポジウム, 軽井沢, 2008年7月.
- ⑥ K. Ichikawa, J. Sato, Image Synthesis for Blind Corners from Uncalibrated

Multiple Vehicle Cameras, IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Eindhoven, Netherlands, June, 2008.

- ⑦ K. Kozuka, J. Sato, Multiple View Geometry for Mixed Dimensional Cameras, 3rd International Conference on Computer Vision Theory and Applications, Funchal Portugal, January, 2008.
- ⑧ K. Kozuka, C. Wan and J. Sato, Rectification of 3D Data Obtained from Moving Range Sensor by using Multiple View Geometry under Projective Projections in Space-Time, International Workshop on Multi-Dimensional and Multi-View Image Processing, Tokyo, November, 2007.
- ⑨ C. Wan, K. Kozuka, J. Sato, Multiple View Geometry for Non-Rigid Motions Viewed from Translational Cameras, Asian Conference on Computer Vision, Tokyo, November, 2007.
- ⑩ K. Kozuka, J. Sato, Rectification of 3D Data Obtained from Moving Range Sensors by using Multiple View Geometry, International Conference on Image Analysis and Processing, Modena, September, 2007.
- ⑪ K. Hamada, J. Sato, Calibration and Image Generation of Mobile Projector-Camera Systems, International Conference on Image Analysis and Processing, Modena, September, 2007
- ⑫ Y. Piao, J. Sato, Computing Epipolar Geometry from Unsynchronized Cameras, International Conference on Image Analysis and Processing, Modena, September, 2007.
- ⑬ 万 程, 佐藤 淳, Multiple View Geometry under Projective Projections in Space-Time, 画像の認識・理解シンポジウム, 広島, 2007年7月.
- ⑭ K. Nishie, J. Sato, 3D Reconstruction from Uncalibrated Cameras and Uncalibrated Projectors from Shadows, International Conference on Pattern Recognition, Hong Kong, August, 2006.
- ⑮ 早川 和孝, 佐藤 淳, 時空間における多視点幾何, 画像の認識・理解シンポジウム, 仙台, 2006年7月.
- ⑯ 市川 一樹, 佐藤 淳, 車両間画像通信を用いた死角の仮想映像生成, 第11回画像センシングシンポジウム, 横浜, 2006年6月.

〔図書〕（計1件）

- ①佐藤淳，他4名分担執筆，コンピュータビジョンー最先端ガイド1ー（八木康史，斎藤英雄編），pp.103-138，アドコムメディア，2008年

〔産業財産権〕

○出願状況（計1件）

名称：3次元情報提示装置
発明者：佐藤淳，坂上文彦，稲垣雅彦
権利者：国立大学法人名古屋工業大学
種類：特許
番号：PNE09018
出願年月日：平成21年6月8日
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 淳 (SATO JUN)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：20303688

(2)研究協力者

坂上 文彦 (SAKAUE FUMIHIKO)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：00432287