

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760404

研究課題名（和文）ステレオ動画撮影と GPS を組合せた道路路面状態の高速診断システムの構築

研究課題名（英文）Development of express assessment system of road surface with stereo image processing and GPS

研究代表者

蘇 迪（SU DI）

東京大学・大学院工学系研究科・特任講師

研究者番号：40535796

研究成果の概要（和文）：本研究では、道路の路面性状の高速で詳細な計測を可能とするステレオ動画撮影と GPS を組合せた道路路面状態の高速診断システムの構築を開発した。小型で安価なステレオカメラを利用して、ステレオ動画の画像処理を用いた三次元デジタルデータを取得した。本研究では、ステレオ画像のマッチングが可能な探索サブセット領域サイズ、空間解像度を実験的に明らかにした。また、道路管理機関が管理する道路情報は、全て延長座標に基づいて管理されており、道路現状の把握と同様にその位置同定が重要となる。GPS による位置同定を組合せることにより、効率良く行えるシステムを構築することが可能になった。最後に、舗装路面や試験体の計測を通して、再構築精度を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This research developed a stereo camera system for road surface assessment. In this study, first the static photos taken by a calibrated stereo camera system are utilized to reconstruct the three-dimensional coordinates of targets in the pavement. Subsequently to align the various coordinates obtained from different view meshes, one modified Iterative Closet Point method is proposed by affording the appropriate initial conditions and image correlation method. Several field tests have been carried out to evaluate the capabilities of this system. After succeeding to align all the measured coordinates, this system can offer not only the accurate information of local deficiency such as the patching, crack or pothole, but also global fluctuation in a long distance range of the road surface.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：維持・管理，点検・診断，高速化・効率化

## 1. 研究開始当初の背景

我国の道路ストックは、急速な高齢化に加え有料道路の無料化・割引に伴う交通量の増加などにより性能劣化の進行が著しく、現状及び今後の予測を踏まえた計画的な維持管理が必要である。しかし、多くの地方自治体管理道路の健全度が十分に把握されていない

いことが指摘されており、適切に現状を把握し維持管理に反映することが喫緊の課題となっている。今後、道路ストックの維持管理に要する予算や要員の確保が益々厳しくなることが予想されることから、増大するストックを適切に管理できなくなることが危惧される。そのため、予防保全的観点からも、特に日常的な点検・評価の効率化を図ること

が重要であり、効率的かつ経済的に維持管理を行うための技術開発の推進と共に、地方自治体に対する安価で信頼性の高い道路健全性評価技術の提供が期待されている。

現在行われている点検手法としては、主に巡回車からの目視点検と路面性状測定車による点検が挙げられる。目視点検では、巡回者に乗った検査技術者の主観によって行われる。そのため、検査員の知識、経験の違いから検査結果の信頼性が担保できない。路面性状測定車による点検では、レーザーを用いた高精度な点検が可能であるが、コストが非常に大きく、頻繁に行うことは困難である。

画像データを利用する三次元画像センシング計測技術やその応用技術は、近年最も注目すべき先進的技術の一つである。特に、小型で安価なステレオカメラの普及により、ステレオ動画の画像処理を用いた三次元デジタルデータの取得が容易になったことから、これを利用することにより道路状態を頻繁に計測し、道路の現状を高精度で効率的に評価することが期待できる。

## 2. 研究の目的

本研究では、道路の路面性状の高速で詳細な計測を可能とするステレオ動画撮影とGPSを組合せた道路路面状態の高速診断システムの構築を開発する。本システムは膨大なストック量となった道路舗装の性能を迅速・的確に把握し、維持管理業務の高度化・効率化、維持管理コストの縮減、適正化を実現するものである。ステレオ画像からの三次元再構築を舗装路面に適用した例はほとんどないため、以上を踏まえて、本研究の目的は以下のように設定する。

(1) ステレオカメラによって撮影された静止画像から、路面の三次元座標を再構築する。

(2) 再構築を行った三次元座標データのつなぎ合わせを行うことで路面プロフィールを把握する。

(3) 位置同定システムとしてGPSを接続し位置情報と同期された計測を実現する。

## 3. 研究の方法

(1) 道路状態画像計測システムの開発では、ステレオカメラで路面の動画撮影を行った後静止画像を切り出し、それぞれの静止画像から三角測量の要領で路面の三次元座標を作成する(図1)。カメラ自身の持つ内部

変数及び、デジタル座標系と世界座標系との関係性を表す外部変数を把握する必要がある。また、レンズには収差が存在し、精度よく計測を行うには適切な補正が必要となる。

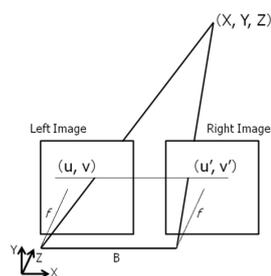


図1 ピンホールカメラ

(2) 静止画像からの三次元座標再構築するために、路面画像における対応点探索を行う。画像相関法は輝度分布を利用した方法であるため、同法による対応点探索を行うには、画像に適度な模様が必要である。ステレオ法が路面そのものに適用された例はなく、路面画像が対応点探索に必要な特徴を有するかを調べる必要がある。また、十分な特徴を含むためのサブセット領域を知る必要がある。

(3) ステレオカメラによって撮影した動画を画像に分割し、それぞれにおいて三次元座標再構築を行う。それぞれの三次元座標はカメラ間の関係が固定されているため同じスケールを持つが、それぞれの視点を基準とした座標系で記述されている。そのため路面座標のつなぎ合わせを行うには座標系を一つに統一する必要がある。得られた三次元座標同士を繋ぎ合わせ、局所的に最適な重ね合わせを発見する Iterative Closest Point (ICP) アルゴリズムを用いることにより、対応関係が未知の場合にも重ね合わせを実行可能である。

(4) 位置同定システムとしてGPSを接続し位置情報と同期された計測を実現する。

(5) 取得する道路インフラの三次元データベースを構築することにより、常に最新のデータベースをシステムに蓄積することを可能とする。

## 4. 研究成果

(1) 空間解像度の設定と対応点探索の関係

デジタルカメラで、二方向から同じ路面を含むように撮影し、画像相関法によって対応点探索を行った。その後、画像の空間解像度を変化させて対応点探索を行った。

相関値計算の結果は図2のようにになっている。それぞれの画像座標における相関値をマッピングし、類似度の最も高い点であることを示している。従って、この点を対応点として決定することとした。空間解像度が 3.75 mm/画素の時まで、対応の成功率は高かった。また、空間解像度が 2.5mm/画素以上になった場合は相関値が小さくなった。そこで誤対応を防ぐために、空間解像度が 2 mm/画素となる場合を対応点探索の限界とした。

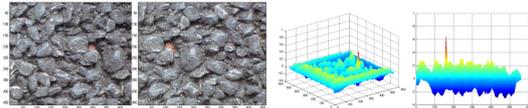


図2 対応点探索

### (2) 撮影距離と測定精度

平面の復元精度を確かめた。カメラから見て奥行き方向に 0.5 m 間隔で平面を設置し、三次元座標再構築を行った。平面には、復元精度を高めるためにランダムな模様を持つものを選定した。カメラ高さを変更しながら、平面の復元精度を求めた結果である。横軸に画素、縦軸に Z 座標をとり、標準偏差をプロットした。計測対象平面には、ダンボールを使用した。検討結果として、奥行き距離の二乗に比例して誤差は増加する(図4)。1 m 離れた点において、2 mm の誤差が生じていた。

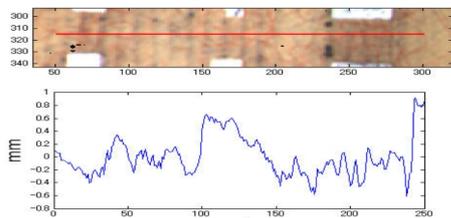


図3 平面の復元結果

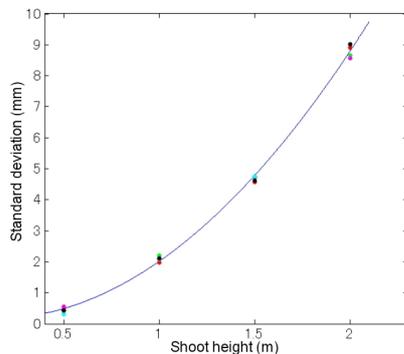


図4 平面測定精度

### (3) 静止画像からの路面三次元座標再構築

静止画の対 1 組から路面の三次元座標再

構築を行った。図5はステレオ処理を行う前の画像対とステレオ処理結果を示す。復元成功率は約 90% である。復元が成功しなかった部分は、両端に存在しており、収差補正の影響によるものと考えられる。中央部分の路面は 100% 復元ができていた。

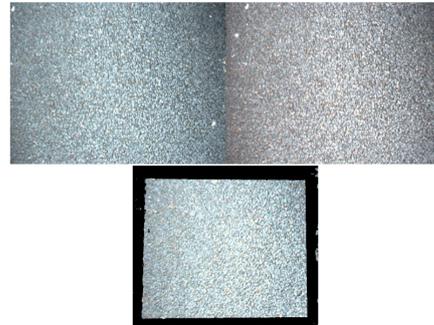


図5 画像対と三次元座標再構築結果

### (4) 動画画像から再構築した三次元座標同士のつなぎ合わせ

各ステレオ画像から再構築した三次元座標を互いの重なり部分が整合的であるようにつなぎ合わせるために、ICP 法を改良して適用した。路面の三次元座標データにはふつう大きな変化が見られないため、ICP 法をそのまま適用する場合、局所解に収束し正解に近づかない。そこで、適当な初期条件を与えるために、画像相関法を利用し、ICP 法と組み合わせた。以下のような改良を加えて再度画像に適用した。

① アルゴリズム終了のための誤差の閾値を、より厳しいものにする。

② 位置合わせを行うほうのデータからランダムに点を抜き取る。今回は 1/3 の点を抜き取った。

③ ②でおおよその位置を同定し、その際の変換行列を初期値として、元の点群同士で位置合わせを行う。

④ 高速化のために、4 隅に領域を絞って計算する。

その結果、移動量のごく小さな三次元座標同士の位置合わせを精度よく行うことに成功した。

### (5) 位置同定システム

ステレオカメラによる動画撮影は、コンピュータを介して撮影の時間情報と GPS から取得した時間位置情報を自動的に同期した。撮影した画像を日時あるいは位置情報の同期する事が確認された。

## 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)

研究者番号：

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 1 件）

1. Di Su, Tomonori Nagayama, Masashi Irie and Yozo Fujino, Development of a stereo camera system for road surface assessment, Proc. SPIE 8692, Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems 2013 (2013.03).

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

蘇 迪 (SU DI)

東京大学・大学院工学系研究科・特任講師

研究者番号：40535796

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )