

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 5 月 30 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560534

研究課題名（和文） 相対ステレオ視システムを気球に搭載した災害規模観測システム

研究課題名（英文） Damage Level Remote Monitoring System on Balloon Using Relative Stereo Vision System

研究代表者

秦 清治 (HATA SEIJI)

香川大学・工学部・教授

研究者番号：50238002

研究成果の概要（和文）：

災害時に遠距離から安全かつ正確に被災地の測量を行う手法として、気球に搭載された 2 台の PTZ カメラを用いた広域精細 3 次元計測システムを提案する。PTZ カメラの広域画像により全景を撮像、その各所の詳細 3 次元データをズーム画像から得る。3 次元データ獲得には、相対ステレオ手法を用い、画面の一部に移し込まれた校正板を用いて実長変換、それを遠近視差補正や視線方向補正を行い、広域詳細地形データを得て、災害前のデータと比較可能にする。

研究成果の概要（英文）：

To get the 3-D Shape of the damaged land after a disaster, safely, the damage level remote monitoring system on a balloon has been introduced. The system consists of two PTZ cameras system on a balloon using relative stereo method. Wide images from the PTZ cameras generate an overall 3-D shape of all over monitoring area. Zoom images from the PTZ cameras generate detailed 3-D shapes on the overall 3-D shape from the wide images. A calibration board placed in the wide images is used to define the absolute dimensions of the measured 3-D shapes. The distance and parallax modification has been introduced to get the precise 3-D data from the zoom images. The resulted wide-detailed 3-D shapes can be compared with the 3-D data before the damage.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・(土木計画学・交通工学)

キーワード：測量, リモートセンシング, 画像処理, 3 次元計測, 災害規模

1. 研究開始当初の背景

(1) 背景

地震や台風などの自然災害により図1に示す様な土砂崩れ、道路の陥没、建造物の損壊、浸水や崖崩れなどが起こる場合がある。自治体は災害発生時の初動として、その災害の規模や被害状況の把握を行うため、被災地の復旧作業のめどを立てることと災害マップ作成を行う。そのためには、被災地の写真撮影と堆積した土砂や瓦礫の量を推定したり、崩れた崖の形状や土砂の流出量を把握するための3次元計測を行う必要がある。しかし、現在行われている撮影や調査の方法では人が災害現場に直接、立ち入って行う必要があるため危険性が危惧されている。したがって、より安全で正確な計測方法が望まれている。



図 1.1 道路の崩落

(2) 従来研究

従来の測量における3次元計測の手法として以下があった。

(a) 地上からの撮影による計測

まず現在行われている Photog-CAD を使った計測について説明する。この計測方法では目盛りのついたロッドと複数のターゲットを基準として設置して現場の撮影を行う。撮影は災害現場に向かって、左・正面・右の3方向から計3枚撮影を行う。撮影した3枚の画像より3次元情報を得る。

問題点として災害現場に計測者が直接近づいて基準となるものを設置して計測を行わなければならない、危険にさらされる点、カメラを置くことができない場所もあり、地上から撮影した場合は撮影方向が限定されてしまう点などが挙げられる。

(b) 小型自律飛行機を用いた測量

上空からの小型自律飛行機を用いた高精度3次元計測がある。この手法では、自律飛行を行う、ラジコン飛行機から地上を連続撮影して計測を行う。この撮影した画

像にモーションステレオ法を用いて3次元データを作成する。

問題点として機材のコストやメンテナンスが必要な点と操作に熟練が必要な点などがある。

(c) 簡易空撮気球による農地の画像解析

また、3次元計測を目的としていないが、気球を活用して上空から地上の様子を撮影できる簡易空撮気球による農地の画像解析技術がある。この手法は簡易気球を用いて100[m]上空から2次元画像で水田や畑を撮影し、作物生育のムラ、雑草の生え具合、湿害の場所、土の湿り具合などの情報を獲得することを目的としている。

この手法はコストが低く、だれにでも扱いやすいことを目的としている。本研究ではこれを利用して3次元計測する方法について検討した。

本研究では、(c)を応用、(a)、(b)の欠点を克服した簡易に計測する手法を開発する。

2. 研究の目的

本研究では低コストで、かつ簡単な操作で上空からの3次元計測ができるシステムの開発を行う。

安全面からは現場から離れた所から正確な計測ができることと、全体的な状況の把握を把握できること挙げられる。これらの解決策の一つとして上空からの画像撮影が有効である。

撮影した画像の利用目的として、災害発生現場の現状の把握や災害マップを作製すること、土砂崩れやがけ崩れなどで堆積した土砂の量を計測し復旧作業のめどを立てることが挙げられる。そのためには鳥瞰的な2次元画像の撮影と3次元データの計測が必要である。

また、装置が広く普及し災害時に直ちに使われるためには低コストであり、操作が簡単であることが必要である。本研究では低コストで、かつ簡単な操作で上空からの3次元計測ができる物の開発を目的とする。

そこで本研究ではこの気球と2台のPTZカメラによるステレオ視を用いた3次元計測システムにより3次元データを獲得し、地図などと比較するためのm単位の絶対対3次元データに変換する事を目指す。

3. 研究の方法

遠隔操作によって、安全かつ正確に被災地の3次元計測が行える手法として、気球と2台のPTZカメラによるステレオ視を組み合わせた3次元計測システムを提案する。

気球を用いる利点として従来のラジコン飛行機などを用いた手法などと比べて、ガスの注入及び、リールによる回収のみで掲揚ができ、扱いが容易である点と減少した分のガスを補充するだけで再掲揚でき、低コストである点が挙げられる。

PTZカメラを用いる利点として推進装置を持たない気球から様々な方向の画像を取得できることと、広域画像とズーム画像の2種類を撮影できることが挙げられる。

しかし、PTZカメラを用いる問題点として、カメラ間距離やカメラの視線方向が変化することにより従来のステレオ視による3次元計測が困難である点が挙げられる。そこで本研究室で開発された相対ステレオ法を利用して3次元計測を可能とする。

3.1 3次元計測装置の構成

提案した計測装置は、図2に示すように、気球と2台のPTZカメラから構成されている。2台のPTZカメラは平行かつ、カメラ間距離が2[m]程になる様に気球の下部に設置されている。

PTZカメラはWebカメラの為、無線LANを使用することでノートPCを使用して遠隔操作によって自由に撮影することが可能である。

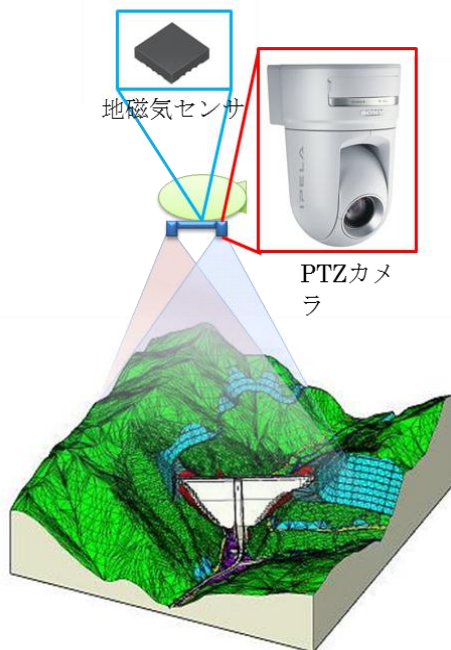


図2 3次元計測システム

3.2 3次元計測手法

本システムでは、PTZカメラのズーム機能を用いて、広域に渡って詳細な3次元データを取得する。広域詳細3次元データの取得方法は、下記3ステップで行う。

(1) ステップ1

ステップ1では、気球に搭載した左のカメラと右のカメラで広域画像及び、広域画像領域の各ズーム画像の撮影を行う。これらの撮影した画像に対して相対ステレオ法を用いる事で広域の粗い3次元データと詳細なズーム3次元データをそれぞれ獲得する(図3)。

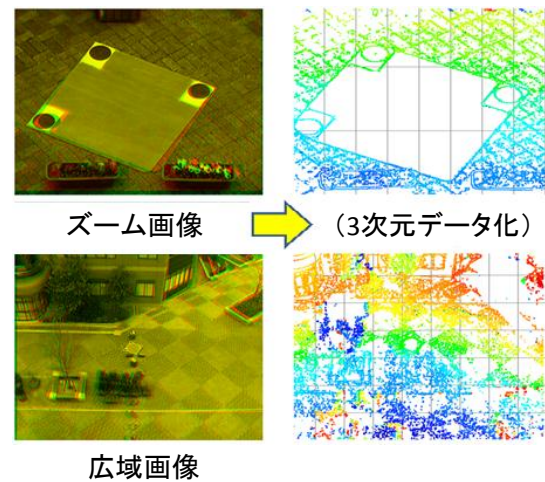


図3 3次元広域・ズームデータの作成

(2) ステップ2

ステップ2では広域画像とズーム画像のテンプレートマッチングを行い、2次元的な重ね合わせを行う。そのために広域画像の倍率に合わせてズーム画像を縮小し、テンプレートにする。テンプレートマッチングの結果、得られたマッチング位置で広域画像とズーム画像を重ね合わせる(図4)。



図4 広域画像とズーム画像のテンプレートマッチング

(3) ステップ3

ステップ2で得られたマッチング位置で2次元的に広域3次元データとズーム3次元データの重ね合わせを行う。さらに2次元的に重ね合わせた位置において、広域3次元データとズーム3次元データの座標系のズレを修

正し、m単位の絶対長に変換する事で、3次元データの詳細化を行う(図5)。

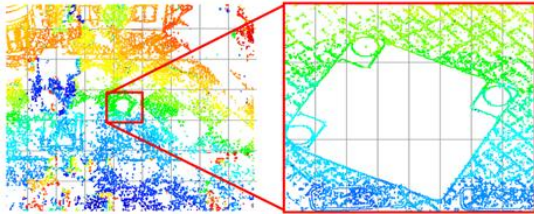


図5 広域3次元データとズーム3次元データの重ね合わせによる詳細化

3.3 実長変換

画像から得られるピクセル単位の3次元データをm単位の実長に変換するためには、座標基準系の決定、視点位置の計測、視線や距離によるデータ修正が必要である。そのために開発した技法について、以下に説明する。

(1) 座標系の設定

ピクセルデータ[pixel]から実長[mm]への3次元座標系の変換を行い実体モデルを表示するために、座標系を設定する。本測量システムでは、図6に示すように、橙色の矢印で示している画面座標系(i, j)、赤色の矢印で示しているカメラ座標系(X_c, Y_c, Z_c)、黒色の矢印で示すワールド座標系(X_w, Y_w, Z_w)の3つの座標系を用いる。

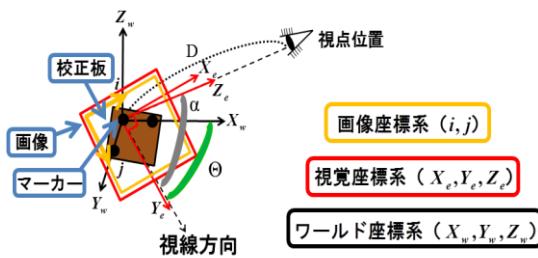


図6 座標系について

ワールド座標系とは地図と対応付けるための座標である。ワールド座標系では、校正板を用い3点のマーカ(マーカ重心点間距離1[m])の中央のマーカの重心点を原点として、他のマーカのそれぞれを X_w, Y_w と取り、それに直交する方向を Z_w とする。

カメラ座標系では、中央のマーカの重心点を原点とし、視点位置方向に Z_c 軸、 Z_c 軸と直角にそれぞれ X_c 軸と Y_c 軸を取る。

画面座標系では、左上を原点と考え、カメラ座標系の X_c 軸、 Y_c 軸と平行にそれぞれi軸、j軸を取りピクセル単位での計測を行う。そ

して、画面座標系のpixel単位での測量をm単位に変換し、カメラ座標系、そして、ワールド座標系へ変換する。

(2) 校正板

校正板は、図7に示すように、板上に1m間隔で配置された3つの黒点からなり、中央の黒点から周りの2つの黒点を結ぶ方向により、ワールド座標系のX軸、Y軸を規定する。また、その2つの軸に直交する方向がZ軸であり、中央の黒点の中心を座標原点とする。校正板によってワールド座標系が定義され、視点位置が決まる。

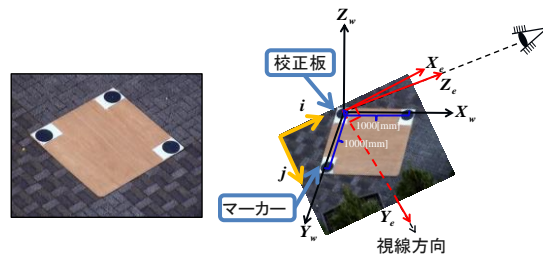


図7 校正板と座標系

(3) 視点位置の決定

ワールド座標系における視点の位置は、図8に示すように、校正板から決まるX軸からのXY平面上での視点への角度 θ 、XY平面からの角度 α 、そして原点からの距離、Dで決まる。

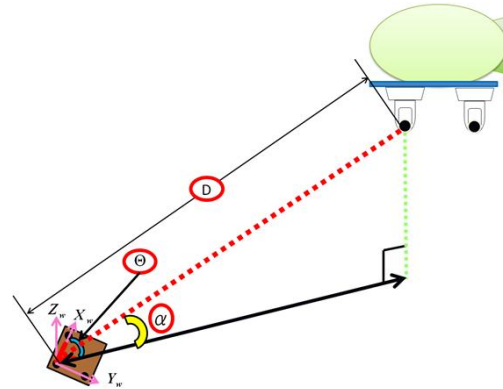


図8 視点位置の定義

[θ の決定]

視線方向から斜めに見たとき、X軸からの正確な角度は求まらないが、図9に示すように、原点から底辺に降ろした直線の交点左右の長さ比は同じなので、それを利用して、角度 θ は下式で求まる。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{a}{b} \right)$$

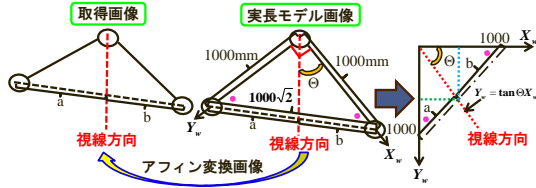


図9 θ の決定

[α の決定]

角度 θ が求まっているので、視線方向から真っ正面に校正板を見たときの図10のマーク点間の水平距離 W と原点から水平線に伸ばした長さ L の比 L/W は、計算で求まる。また、斜めから見た撮像画面内でも、 $1/w$ を求めることができる。これから α は、下式で求まる。

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{1/w}{L/W} \right)$$

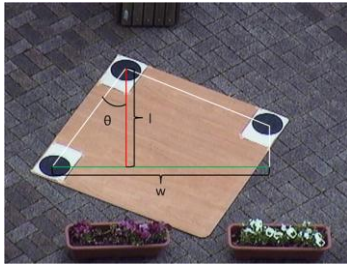


図10 α の決定

[D の決定]

角度 θ 、 α が求まると、上記の L の実際の長さは計算で求まる。また、その撮像面での長さ Δl も、画面内の長さとしてピクセルサイズから求めることができる。このとき、 L 、 Δl 、原点から視点までの距離 D 、およびレンズの焦点距離 f の間には、下記の関係式が成り立つ。これを利用して、 D が求められる。

$$\frac{L}{\Delta l} = \frac{D}{f}$$

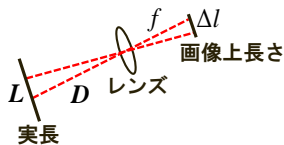


図11 D の決定

(4) 校正板周りの実長変換係数の導出

角度 θ 、 α が求まると、校正板を移した画像から、図12の a, b のピクセル数を求め、校正板が置いている辺りのカメラ座標系で

の1ピクセル当たりの mm 長さ（実長変換係数 P_x, P_y ）を下式で求めることができる。

$$P_x = \frac{1000 \times \sin \theta}{a} \quad P_y = \frac{1000 \times \cos \theta}{c}$$

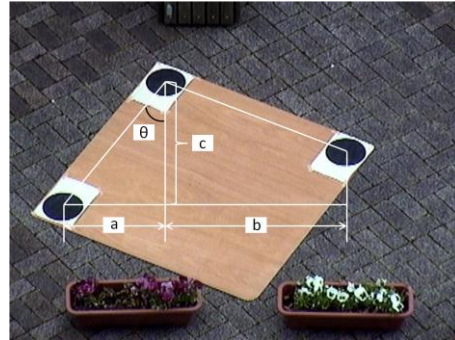


図12 P_x, P_y の決定

また、図13の用に、左右のPTZカメラの画像間で、原点で画像を重ねたときの他のマーク点のずれ量 d から、画像ずれ1ピクセル当たりのカメラ座標系での z 方向の mm 長さを下式で求めることができる。

$$P_z = \frac{1000 \times \cos \alpha \times \cos \theta}{d}$$

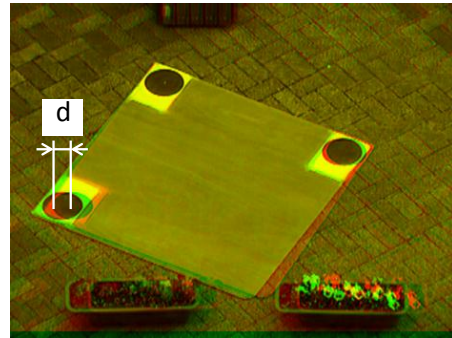


図12 P_z の決定

以上の係数 (P_x, P_y, P_z) により、校正板付近では、ズーム画像で mm 単位による3次元計測データを求める事ができる。

3.4 実長変換係数の伝搬

以上の処理で、校正板周りのピクセル当たりの実長変換係数は求まったが、実長変換係数は、視点から対象までの距離に比例する。このため、校正板以外のズーム画像では、距離による補正を行わなければならない。

また、ズーム画像の視覚座標系と広域画像の世界座標系は、視線方向が異なるため、座標系に対して角度補正が必要である。

以下、補正方法について説明する。

- (1) ズーム画像のオーバーラップと距離補正
ズーム画像撮影時、図13の様の一部を重ね

合わせ、共通領域にある対象を計測、前の画像で対象の視点からの距離を計測、下式により実長変換係数を補正した。これを連続画像で繰り返すことで、個々のズーム画像の実長変換係数を決定、計測を行った。ここで、 P_0, D_0 は前の画像の変換係数と対象までの距離、 P_1, D_1 は、次の画像での係数と距離である。

$$P_1 = P_0 \times \frac{D_1}{D_0}$$

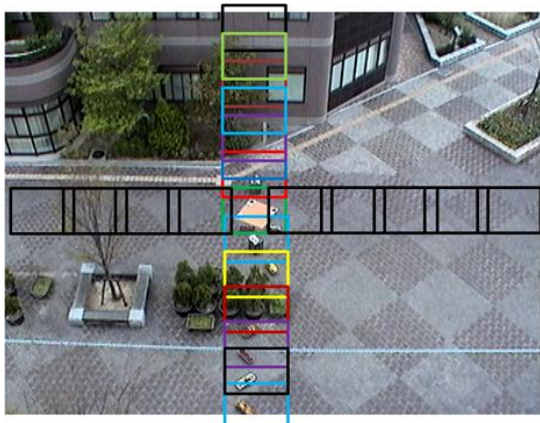


図 13 ズーム画像のオーバーラップ

(2) 視線方法による角度補正

広域画像撮像時の視線方向に対するズーム画像撮像時の角度のずれは、ズーム画像がワールド画像のどこを見ているかで決めることができる。これを元に角度補正を行う。

4. 研究成果

(1) 計測実験の結果

3章の方法により広域詳細3次元データを作成、図13の画像に対し、図14の3次元画像表示を行った。図中、青が濃いほど視点近くであり、赤が濃いほど遠方にある。

計測精度を調べるため、中央の校正板データを元に、上方の窓枠の幅と高さを計測した。幅、実長 736mm に対し計測 747mm、長さ 1226mm に対し、1223mm と良好な値を得た。

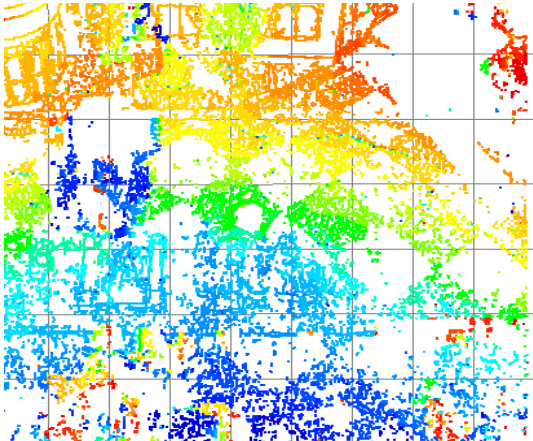


図 14 図 13 画像の広域詳細データ

(2) 研究成果

災害場所を安全な場所からモニタリングし、遠隔操作による広域詳細3次元データ獲得を行って災害規模を計測するため、気球と2台のPTZカメラによるステレオ視を組み合わせた3次元計測システムの開発を行った。

広域画像と多数のズーム画像をから相対ステレオ法により3次元データとする。まず、相対ステレオ法により画像レベルの3次元データを作成し、画素レベルデータから実長の[mm]単位への変換を行う。そして、地図と比較できるワールド座標系へ変換する。

以上の技術を開発、実験により実際の画像で3次元データを作成、精度検証を行い、十分な精度が得られることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計3件)

- ① 福田大倫、ズーム画像の重ね合わせによる広域3次元データの高精度化、精密工学会 サマーセミナー2010、2010-8
- ② 福田大倫、ズーム画像の重ね合わせによる広域3次元データの高精度化、精密工学会 サマーセミナー2011、2011-8
- ③ 福田大倫、坂尾裕也、秦清治、複数のズーム画像間における実長変換係数の伝搬による3次元データの獲得、精密工学会第17回知能メカトロニクスワークショップ、2012-8

6. 研究組織

(1) 研究代表者

秦 清治 (HATA SEIJI)
香川大学・工学部・教授
研究者番号：50238002