

平成14年度 研究開発成果報告書

「空中撮影データによる地上任意視点の実時間3次元動画生成システムの研究開発」

目 次

1	研究開発課題の背景	3
2	研究開発分野の現状	3
3	研究開発の全体計画	4
3-1	研究開発課題の概要	4
3-2	研究開発目標	4
3-2-1	最終目標	4
3-2-2	中間目標	4
3-3	研究開発の年度別計画	5
3-4	研究開発体制	6
4	研究開発の概要（平成14年度まで）	9
4-1	研究開発実施計画	9
4-1-1	研究開発の計画内容	9
4-1-2	研究開発課題実施計画	10
4-2	研究開発の実施内容	11
5	研究開発実施状況（平成14年度）	13
5-1	基本技術のサブシステム化に関する研究開発	13
5-1-1	序論	13
5-1-2	多視点画像からのシーンの距離計測サブシステムの開発	13
5-1-3	シーンの幾何モデル生成サブシステムの開発	13
5-1-4	部分的幾何モデル統合サブシステムの開発	13
5-1-5	テクスチャマッピングサブシステムの開発	13
5-1-6	3次元画像表示サブシステムの開発	13
5-1-7	まとめ	13
5-2	シミュレーションシステムに関する研究開発	14
5-2-1	序論	14
5-2-2	基本技術を統合した実験用システムの開発	14
5-2-3	実験用システムの構築	19
5-2-4	まとめ	28
5-3	シミュレーションシステムに関する実験の研究	29
5-3-1	序論	29
5-3-2	複数視点の撮像実験	29
5-3-3	3次元映像の品質実験	36
5-3-4	まとめ	42

5-4 總括 4 2

参考資料、参考文献

(添付資料)

1 研究発表、講演、文献等一覧

1 研究開発課題の背景

我が国においては、各々の地域の生活空間が地震・台風等の天災、火災、放射能による災害、テロ等の人的災害にいつ見舞われてもおかしくない状況下にある。

斯かる災害が発生した時に、人々への影響及び経済的打撃を最小限に食い止める対策に関する技術開発は、生活している人々の安心の為にもまだまだ必要とされている。

実際、災害発生時にその被害の状況や避難の方法等の情報をより詳しくしかも実時間で任意視点からの3次元動画として生成するシステムを開発できれば、防災対策上極めて有用である。

2 研究開発分野の現状

現在、市場規模が6兆5千億円と予想されているGIS(電子地図情報システム)のキーテクノロジーとして、空中撮影による立体測量システムの開発が、国土地理院のPRISMの他、NTT、NEC、パスコ、テラ・マトリクス、センサ情報研究所、宇宙情報技術研究所など、多くの機関、企業で活発化している。

しかし、いずれも特殊で高価なラインセンサーやミリ波センサによる走査型観測システムを利用しているが、ラインセンサにはカメラキャリブレーション等の問題、ミリ波センサにはさらに分解能や安全性等の問題があり、いずれも処理の自動化をできず、旧来からのランドマークを利用した人手作業や、適用範囲や測定精度に限界がある単純な相関法を利用しているのが現状である。

本プロジェクトで提案するシステムの優位性として、上述のラインセンサーからの画像の他、通常の市販のカメラからの画像を利用することができるので低コストで安全性があり、走査型観測だけでなく、特定のターゲットを注視観測できる融通性があり、全自動、オンライン(実時間)、高精度処理ができることが挙げられるが、本プロジェクトはさらに、単なる表示だけでなく、個々の対象物の意味や対象間の関係も理解できる多機能な知的GISを目指している。

3 研究開発の全体計画

3-1 研究開発課題の概要

飛行体内に設置された観測カメラからの空中撮影によって得られる多視点画像から広域の環境の3次元幾何モデル（以下、3次元マップ）を自動作成し、任意の視点からの動画として生成表示するシステムと、作成したマップに基づいて、環境の変化の検出や目標物を探索し認識するシステムに関する研究開発を行う。

本システムは、高機能GISとして、また、災害発生時には、災害状況の把握や、災害発生の源（火山、原子力設備等）、損傷した、またはしつつある建造物等をオンライン（ほぼ実時間）で表示、認識することにより、レスキュー作業の支援等に利用できることが期待される。

3-2 研究開発目標

3-2-1 最終目標（平成17年3月末）

「空中撮影データによる地上任意視点の実時間3次元動画生成システムの研究開発」

- (A) 3次元生活空間のデータベース構築を行い、その生活空間上の静止物体および動物体認識が可能なこと。
- (B) 「(防災用)空中撮影による地上任意視点の実時間3次元動画生成システム」のメインシステムとサブシステムであること。
- (C) 「高高度飛行体」から実用に耐え得る四方八方からの生活空間連続映像を受信できるようになった時点で、すぐこの連続映像を本開発システムの入力データとして扱えば済むような汎用性のあること。
- (D) 撮影から3次元動画生成までが、ほぼ実時間といえるシステムであること。

(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発 [再委託先：産総研]

- ・ ほぼ実時間で3次元動画生成する為のサブシステムとしてメインシステムに組み込みが可能なこと。

(2) シミュレーションシステムに関する研究開発 [再委託先：(株)知識情報研究所]

- ・ 「(防災用)空中撮影による地上任意視点の実時間3次元動画生成システム」のメインシステムであること。

(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究

- ・ 「シミュレーションシステム」の評価実験を行う際の撮影データとして、撮像条件の良い晴天・朝昼間時だけでなく、雨天・夜間時での撮影データを扱うこと。

3-2-2 中間目標（平成16年9月末）

(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発

- ・ 「シミュレーションシステム」に組み込み可能であること。

(2) シミュレーションシステムに関する研究開発

- ・ 実験用の対象物を観測できるシステムであること。

(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究

- ・ 通常（悪天候でなく、夜間でもない）の撮影条件下での評価実験を行うこと。

3-3 研究開発の年度別計画

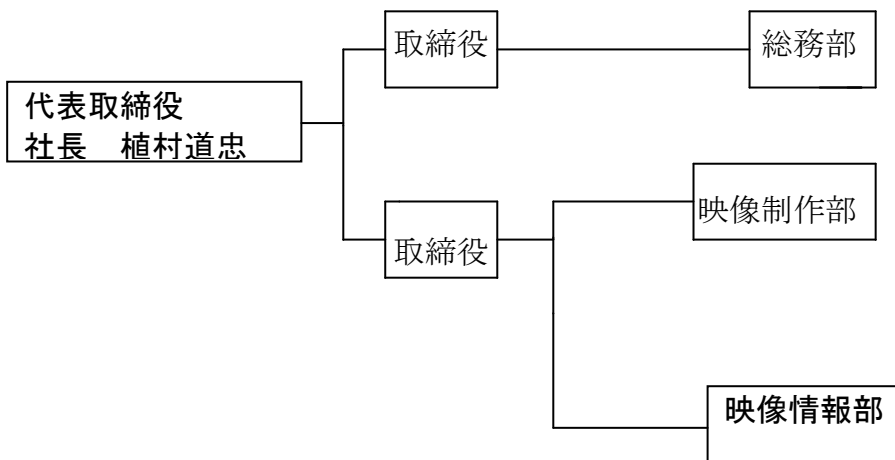
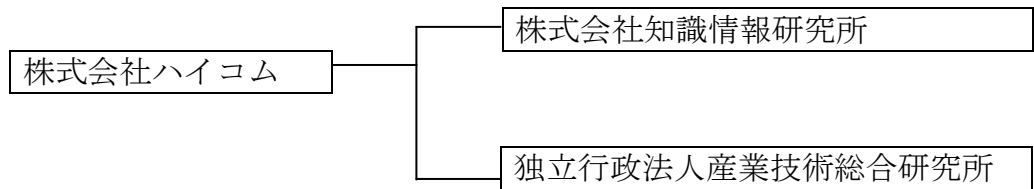
(金額は非公表)

研究開発項目	14年度	15年度	16年度	計	備考
空中撮影データによる地上任意視点の実時間3次元動画生成システムの研究開発					
(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発	→	→	→		(再委託先) 独立行政法人 産業技術総合研究所
(2) シミュレーションシステムに関する研究開発	→	→	→		(再委託先) 株式会社 知識情報研究所
(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究	→	→	→		
間接経費					
合計					

- 注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。
 2 備考欄に再委託先機関名を記載
 3 年度の欄は研究開発期間の当初年度から記載。前年度(14年度)までは、合計が当該年度の契約額の実績値となるよう記載。
 注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。
 2 備考欄に再委託先機関名を記載

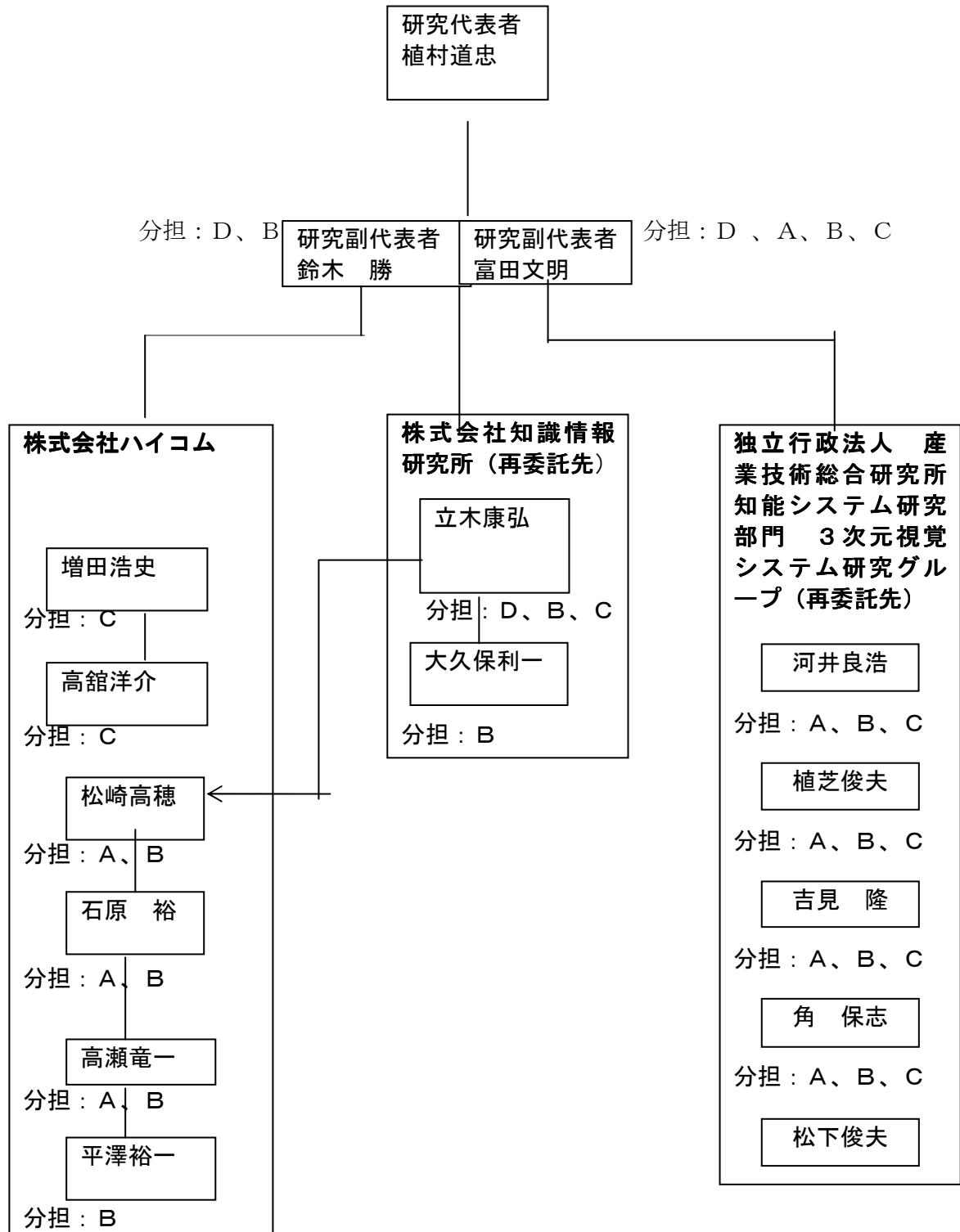
3-4 研究開発体制

3-4-1 研究開発管理体制



3-4-2 研究開発実施体制

- * 分担A：基本技術のサブシステム化に関する研究開発
- * 分担B：シミュレーションシステムに関する研究開発
- * 分担C：シミュレーションシステムに関する実験の研究
- * 分担D：研究開発総括



3-4-3 研究実施場所

- ・株式会社 ハイコム

住 所：〒160-0004 東京都新宿区四谷 1-5 新四谷駅前ビル

T E L：03-5269-1701 F A X：03-5269-1890

研究内容 C. シミュレーションシステムに関する実験の研究（メイン担当）
B. シミュレーションシステムに関する研究開発（サブ担当）
A. 基本技術のサブシステム化に関する研究開発（サブ担当）

- ・株式会社 知識情報研究所

住所：〒305-0046 茨城県つくば市東 2-7-3

T E L：029-850-0300 F A X：029-850-0301

研究内容 B. シミュレーションシステムに関する研究開発（メイン担当）

- ・独立行政法人 産業技術総合研究所

住 所：〒305-8568 茨城県つくば市梅園一丁目 1-1 中央第 2

T E L：029-861-5954 F A X：029-861-5961

研究内容 A. 基本技術のサブシステム化に関する研究開発（メイン担当）
B. シミュレーションシステムに関する研究開発（サブ担当）
C. シミュレーションシステムに関する実験の研究（サブ担当）

4 研究開発の概要

4-1 研究開発実施計画

4-1-1 研究開発の計画内容

サブテーマ（１）基本技術のサブシステム化に関する研究開発、（２）シミュレーションシステムに関する研究開発、（３）シミュレーションシステムに関する実験の研究について記述する。

（１）基本技術のサブシステム化に関する研究開発

「実験用シミュレーションシステム」に必要なサブシステムに関する研究開発を行う。具体的には、サブテーマを更に次のサブテーマの細目に分割して、研究開発を行う。

- ア．多視点画像からのシーン（静止物）の距離計測サブシステムの開発
- イ．シーンの幾何モデル生成サブシステムの開発
- ウ．部分的幾何モデル統合サブシステムの開発
- エ．テクスチャマッピングサブシステムの開発
- オ．3次元画像表示サブシステムの開発

（２）シミュレーションシステムに関する研究開発

「(防災用) 空中撮影による地上任意視点の実時間3次元動画生成システム」のプロトタイプに繋げる核となる「実験用シミュレーションシステム」の研究開発及び実験環境構築を行う。

サブテーマを更に次のサブテーマの細目に分割して、研究開発を行う。

- ア．上記（１）の基本技術を統合した実験用システムの開発
- イ．実験用システムの構築

（３）シミュレーションシステムに関する実験の研究

シミュレーションシステムによりシミュレーションを行う。複数の視点で模型被写体を撮影して、3次元映像として画質が良好であることの性能評価実験を行う。実験場としては、(株)ハイコム内で予備実験を行ない、産総研内の実験場にて、本実験を行う。

サブテーマを更に次のサブテーマの細目に分割して、実験を行う。

- ア．複数視点の撮像実験
- イ．3次元映像の品質実験

4-1-2 研究開発課題実施計画

(金額は非公表)

研究開発項目	第3四半期	第4四半期	計	備考
空中撮影データによる地上任意視点の実時間3次元動画生成システムの研究開発				
(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発	→	→		<ul style="list-style-type: none"> ・メイン (再委託先) 独立行政法人 産業技術総合研究所 ・サブ (再委託先) 株式会社 知識情報研究所
(2) シミュレーションシステムに関する研究開発	→	→		<ul style="list-style-type: none"> ・メイン (再委託先) 株式会社 知識情報研究所 ・サブ 株式会社 ハイコム
(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究	→	→		株式会社 ハイコム
間接経費				
合計				

- 注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。
 (合計の計は、「3-1の研究開発課題必要概算経費」の総額と一致)
- 2 備考欄に再委託先機関名を記載。

4-2 研究開発の実施内容

14年度における研究開発の内容(計画)	14年度に実施した研究開発内容
<p>(1) 基本技術のサブシステム化に関する研究開発</p> <p>「実験用シミュレーションシステム」に必要なサブシステムに関する研究開発を行う。</p> <p>ア. 多視点画像からのシーン(静止物)の距離計測サブシステムの開発</p> <p>イ. シーンの幾何モデル生成サブシステムの開発</p> <p>ウ. 部分的幾何モデル統合サブシステムの開発</p> <p>エ. テクスチャマッピングサブシステムの開発</p> <p>オ. 3次元画像表示サブシステムの開発</p>	<p>注視型空中撮影による高精度な距離計測を実現する為に必要な機能の改良と増強を図っている。従来の微分エッジに基づくステレオ法に加えて、等輝度線ステレオ法と相関ステレオ法の高性能化によりステレオ法による距離計測の有効性が拡大している。</p> <p>ア. テクスチャ面の距離を高速に計測する再帰相関ステレオ法を開発した。</p> <p>イ. 従来の空間微分法では検出できない輝度変化の緩慢な境界線を、等輝度線に基づいて抽出する処理を開発中。</p> <p>ウ. 曲面体を対象として、相対的な移動によって変化する見かけの輪郭線を検出し逐次的に曲面ネットを生成する処理を開発中。</p> <p>エ. 相関ステレオ法によって生成される距離画像データに画像の輝度情報を付加した。</p> <p>オ. 等輝度線ステレオ法によって生成される多重 B-Rep 距離データを距離画像データにコンパクト化することにより、面パッチによる3次元画像表示を可能とした。</p>
<p>(2) シミュレーションシステムに関する研究開発</p> <p>「(防災用)空中撮影による地上任意視点の実時間3次元動画生成システム」のプロトタイプに繋げる核となる「実験用シミュレーションシステム」の研究開発及び実験環境構築を行う。</p> <p>ア. 上記(1)の基本技術を統合した実験用システムの開発</p> <p>イ. 実験用ハードウェアの構築</p>	<p>注視型空中撮影に有効な小型軽量3次元視覚センサーとして、デジタルステレオカメラシステムを開発した。また、センサーとして、3次元の距離情報だけでなく、表面温度情報を得る為のサーモ(赤外線)ステレオカメラシステムの開発にも着手した。</p> <p>ア. 空中撮影に標準的に利用するステレオデジタルカメラから同期的時系列ステレオ画像を25フレーム/秒で入力、蓄積するLinux用ドライバーを開発した。</p> <p>イ. 3次元表面温度分布の計測をするためのサーモステレオカメラシステムを開発中。</p>

<p>(3) シミュレーションシステムに関する実験の研究</p> <p>シミュレーションシステムによりシミュレーションを行う。複数の固定カメラで模型被写体を撮影して、3次元映像として画質が良好であることの性能評価実験を行う。</p> <p>ア. 複数視点の撮像実験</p> <p>イ. 3次元映像の品質実験</p>	<p>対象物の複数視点から距離データを計測し、統合する予備実験を行っている。</p> <p>また、TLS (Three Line Scanner) による走査型空中撮影ステレオ画像を用いて、通常のカメラを用いる注視型空中撮影による距離計測の予備実験を行っている。</p> <p>ア. 装置として、カメラ3台を1セットとするステレオカメラシステムと回転台を用いて、対象物の複数の視点からのステレオ画像を撮像し、処理として、相関ステレオ法による距離計測の予備実験を行った。</p> <p>イ. 次の2点の成果を得た。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 相関ステレオ法によって不可避免的に発生する微小なノイズを、小領域として検出することによって除去する処理を開発した。 2) TLSによる高分解能な空中撮影ステレオ画像を間引いて通常のカメラの分解能の画像を用いることにより、相関ステレオ法による3次元復元の予備実験を行い、通常のカメラによっても高精度な距離データを得るために有効な撮影の高度と移動距離の目安を得た。
---	---

5 研究開発実施状況

5-1 基本技術のサブシステム化に関する研究開発

5-1-1 序論

本サブテーマの研究開発全体からみた位置づけは、本研究開発に関連する基礎研究の結果、或いは基礎研究の中途段階の成果を得ることと、これらの結果或いは成果に、必要に応じてソフトとしてのサブシステム機能を持たせることの研究を行い、基本技術を確立するというところにある。

平成14年度における研究においては、注視型空中撮影による高精度な距離計測を実現する為に必要な機能の改良と増強を図っている。

また、従来の微分エッジに基づくステレオ法に加えて、等輝度線ステレオ法と相関ステレオ法の高性能化によりステレオ法による距離計測の適用範囲を拡大している。

5-1-2 多視点画像からのシーンの距離計測サブシステムの開発

テクスチャ面の距離を高速に計測する再帰相関ステレオ法に関する研究を行い、この基本技術を開発した。

5-1-3 シーンの幾何モデル生成サブシステムの開発

従来の空間微分法では検出できない輝度変化の緩慢な境界線を、等輝度線に基づいて抽出する処理に関する研究を行い、この基本技術の開発に着手した。

5-1-4 部分的幾何モデル統合サブシステムの開発

曲面体を対象として、相対的な移動によって変化する見かけの輪郭線を検出し、逐次的に曲面ネットを生成する処理に関する研究を行い、この基本技術の開発に着手した。

5-1-5 テクスチャーマッピングサブシステムの開発

相関ステレオ法によって生成される距離画像データに画像の輝度情報を付加する研究を行い、これを開発した。

5-1-6 3次元画像表示サブシステムの開発

等輝度線ステレオ法によって生成される多重 B-Rep 距離データを距離画像データにコンパクト化することにより、面パッチによる3次元画像表示を可能とする研究を行い、この基本技術を開発した。

5-1-7 まとめ

計画通りの成果を得ているが、平成15年度に継続とした研究も含めて、平成15年度の研究期間内に、屋内シミュレーションシステムでジオラマの模擬空中撮影データを基にして、ほぼ実時間で任意視点からの3次元動画を生成する為の基本技術の研究開発をする予定である。

5-2 シミュレーションシステムに関する研究開発

5-2-1 序論

本サブテーマの研究開発全体からみた位置づけは、基本技術を基に、「(防災用) 空中撮影による地上任意視点の実時間 3 次元動画生成システム」の、プロトタイプのコアに繋げる「実験用シミュレーションシステム」の研究開発及び実験環境構築を行うことにある。

本サブテーマの研究において、注視型空中撮影に有効な小型軽量 3 次元視覚センサーとして、デジタルステレオカメラの Linux 用ドライバーを開発した。また、センサーとして、3 次元の距離情報だけでなく、表面温度情報を得るためのサーモ (赤外線) ステレオカメラシステムの開発にも着手した。

5-2-2 基本技術を統合した実験用システムの開発

空中撮影において必要な実験用システムとして、空中撮影に標準的に利用するステレオデジタルカメラから同期的時系列ステレオ画像を 25 フレーム/秒で入力、蓄積する Linux 用ドライバーを開発した。[ステレオ画像入力・蓄積システム]

また、空中撮影に必要となるカメラ位置検出 (GPS)、カメラ制御、画像データの転送について調査を行った。[GPS システム、無線通信管理システム]

さらに、サブシステム化された基本技術による [視点の異なる観測データの統合] について研究した。[環境マップ作成と表示]

[ステレオ画像入力・蓄積システム]

3 眼デジタルステレオカメラ (図 5-2-2-0) による撮影画像を図 5-2-2-1 から図 5-2-2-3 に示す。



図 5-2-2-0 3 眼デジタルステレオカメラ

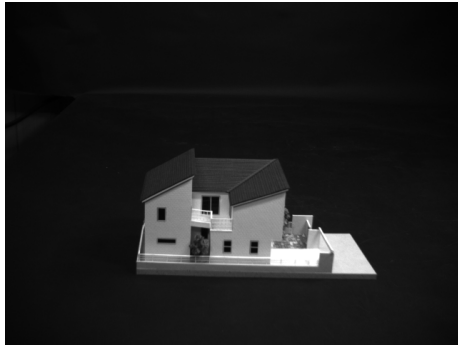


図 5-2-2-3 中央カメラ画像

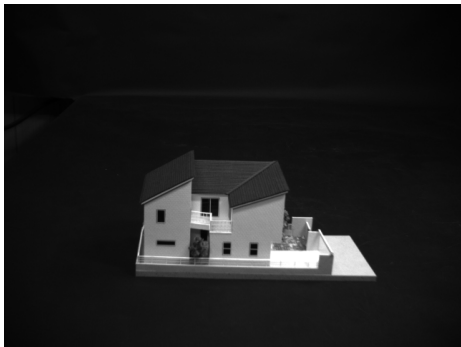


図 5-2-2-1 左カメラ画像

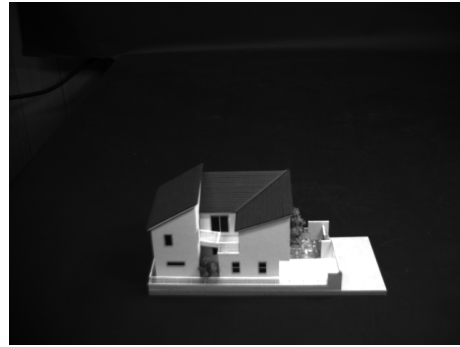


図 5-2-2-2 右カメラ画像

[GPS システム]

15年度に着手する [GPS システム] の研究開発内容を明確にするために、次の調査を行った。

位置の検出には、GPS が使用される。現在、GPS の主な民生市場は、自動車、船舶、地理計測分野であり、航空機は市場が狭いこともあって、一般に市販されている安価なシステムはないようである。GPS の種類としては、

・GPS

GPS の位置計測の誤差にはさまざまな要因が関係している。数年前までは SA と呼ばれる、意図的に誤差を混入させた物が利用された。測位誤差は100mオーダーと言われていたが、1998年5月より SA は解除され、誤差は10mまで下がった。しかし実際には上記の衛星捕捉数や配置の問題により30m程度の誤差が出てしまう。

・DGPS (ディファレンシアルGPS)

DGPS には基準局という概念がある。基準局とは地上に固定された局で、常に衛星から電波を受け取りその情報に基づき自己の位置を測位している。基準局は地上に固定されているので、自分自身の正確な位置を知っている。測位した位置と正確な位置を比べることで、その時々 GPS の持つ誤差が分かる。これを基準局は常時発信している。

DGPS はこの基準局の電波と衛星からの電波の両方を利用して、GPS 測位の誤差を補正することで10cm単位の精度を達成している。

・RTK-GPS (リアルタイムキネマティックGPS)

RTK-GPS は、位置の分かっている基準局と位置を求めようとする観測点で同時にGPS観測を行い、基準局で観測したデータを無線等を用いて観測点へリアルタイムに送信し、基準局の位置成果に基づき観測点の位置をリアルタイムに求めることができる。

これらの方法では、各種の誤差要因が消去されることから、RTK-GPS は数cmの誤差で位置が決定される。

・WAAS (Wide Area Augmentation)

WAAS は、補正情報を送る方法が異なる。これまでのDGPS等が中波やFM多重波という地上波を採用していたため、地形や建物などの障害物により補正情報が遮断されて内陸では補正情報を安定受信できない。しかし、WAAS では補正情報を静止衛星を使って送信する機構を採用しているため、上空が開けている場所なら空中だけでなく地上でも補正情報を安定受信することが出来る。

さらに、高速で移動していても受信可能な性能を持ち、その追尾性能は、従来型のDGPSをはるかに凌駕する。静止衛星から位置測

定の信号も合わせて送信しているために、0.9M-3M 以内の誤差精度で内陸部全域で利用が可能となる。

等があり、これらについて調査研究を行った。

精度、計測頻度、重さ、アンテナの種類とサイズ、価格などが比較要素となる。WAAC はそもそも航空機用に開発されていて、逆に、海上保安庁の基準電波が受けられない地域でも利用可能なことから、湖上での使用など、船舶でも応用され、今後は一般の乗り物には多用される見込みがあり、この中で最も有望と判断した。また、自動車用などの民生品も急速に精度が改善されており、ある程度広角で撮影する場合には十分役立つものと予想される。

[無線通信管理システム]

15年度に着手する[無線通信管理システム]の研究開発内容を明確にするために、次の調査を行った。

空中撮影において飛行体から地上へのデータ送受信を方法としては、電波法で許されたものでしかも高速転送が要求されるという困難な問題を克服する必要がある。

現状では、

(イ) 携帯電話（地上波）

(ロ) 携帯電話（衛星を使用）

(ハ) 無線 LAN（10MHz 帯）

があるが、携帯電話では、通信速度が 9600 ボー程度であることが難点である。

また、無線 LAN では、伝送距離が数百mに限られることが難点である。

これらに対抗するものとして、

(ニ) 海上通信用の 2.4GHz システムがある会社から販売されている。

指向性のアンテナを送受で使用し、揺れる船上による姿勢を機械的に補正することにより船と陸上との通信を、わずか 10mW の出力で、10Km の距離の通信が可能とのことである。しかしながら、標準的なシステムは重量が大きく、これが最大の問題となる。

以上の調査結果を踏まえて、携帯電話を使用し、ゆっくり回転しながら、毎秒のコマ数を落として送信する。

指向性のアンテナを開発して、無線 LAN の到達距離を延ばす、あるいは高度数百mでの無線 LAN による通信が必要となるといった対策をとる必要がある。

[視点の異なる観測データの統合～環境マップ作成と表示]

15年度に着手する「視点の異なる観測データの統合～環境マップ作成と表示」の研究開発内容を明確にするために、「視点の異なる部分的3次元距離データの重ね合わせ」の予備実験として、アクティブステレオカメラシステムのヘッドのパン機構を用いて、視点は異なるが、その相対的位置関係が既知の複数のステレオ画像から得られた3次元距離データを重ね合わせた結果を図5-2-2-4に示す。

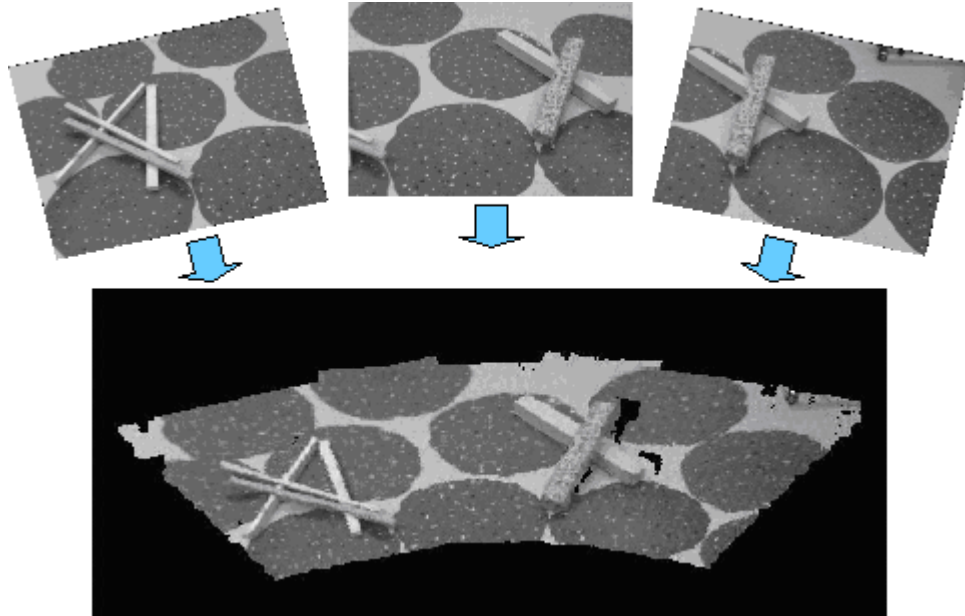


図 5-2-2-4 視点の異なる部分的3次元距離データの重ね合わせ

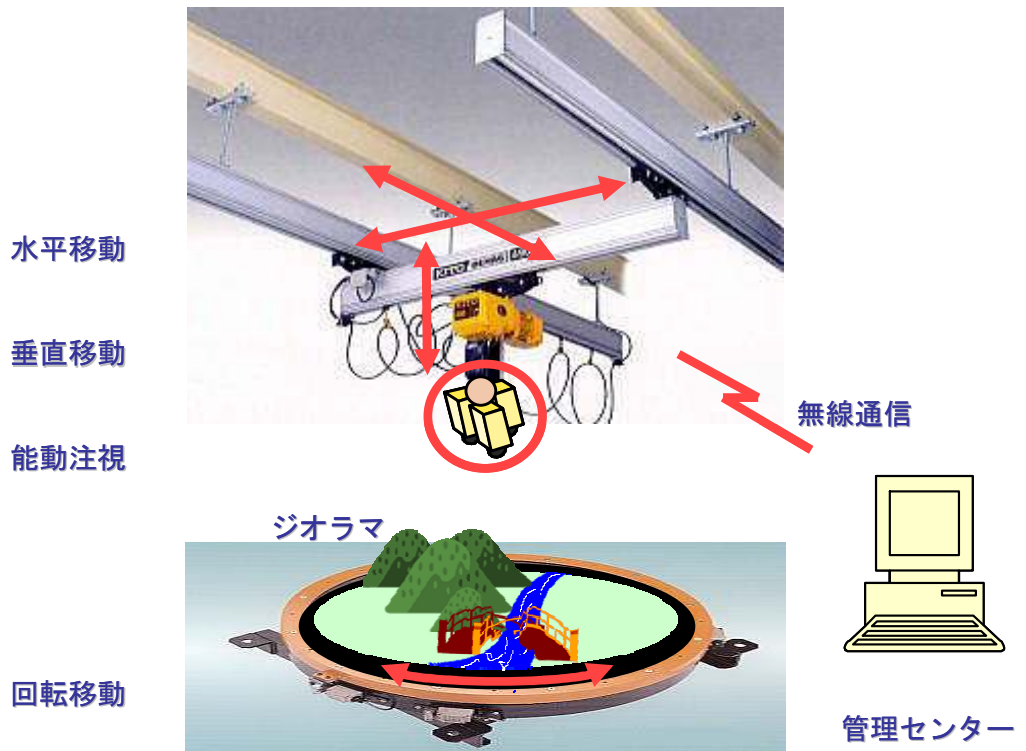
5-2-3 実験用システムの構築

幾つかの実験用システムを構築中である。[飛行シミュレーションシステム、サーモステレオカメラシステム]

幾つかのシステムの構築に必要なソフト開発に一部着手した。[飛行シミュレーションシステム、アクティブステレオカメラシステム、サーモステレオカメラシステム]

15年度に着手すべき幾つかの実験用システムの構築に関する調査等を行った。[近赤外ステレオカメラシステム、セルフキャリブレーション]

飛行シミュレーションシステムのイメージ図とジオラマの実写を示す。



ジオラマの写真

[飛行シミュレーションシステム]

飛行模擬実験を行うためのシステム構築に着手した。

- ・回転舞台（ターゲットの回転＝飛行体の回転移動の模擬）
- ・クレーン（飛行体の水平移動の模擬）
- ・昇降機（飛行体の垂直移動の模擬）

[アクティブステレオカメラシステム]

注視のできるステレオカメラシステムに用いるパン、チルト、
輻輳、ズーム、フォーカス、アイリスの制御機能を備えるシステム構築に着手した。

[近赤外ステレオカメラシステム]

平成 15 年度の初期に実験を開始する予定である。

[サーモステレオカメラシステム]

サーモステレオカメラシステムの使用は、火災等の災害発生時における災害状況の把握や、災害発生の源（火山、原子力設備等）の熱画像データを取得するために有効な手段と考えられ、そのため実験室の設計、システムを構築および設置を行った。

2枚の熱画像をステレオカメラシステムにより取得する。ステレオシステムのそれぞれの熱画像は、サブシステム化された基本技術の処理によって3次元データを構成することを主眼としている。そのため、サーモカメラを2台使用しステレオカメラシステムを構築した。なおサーモカメラの仕様は以下の通りである。
(表 5-2-3-1)

温度測定範囲	標準	TS73-391 (発注時指定オプション)
レンジ 1	-40°C ~ 120°C	-20°C ~ 100°C
レンジ 2	0°C ~ 500°C	0°C ~ 250°C
最小検知温度差	0.08°C (ノーマルモード、レンジ1)	
測定精度	±2% (レンジフルスケール)	
測定波長	8~14 μm	
検出器	2次元非冷却センサ	
視野角	水平 29° × 垂直 22°	
瞬時視野角	1.58mrad	
焦点距離	50cm~∞	
フレーム時間	1/60s, 1/30s, 1/7.5s 設定可能	
熱画像画素数	320 (H) × 240 (V)	
データ深度	14bits	
環境温度補正	有り (CAL/NUC)	
放射率補正	有り	
デジタルズーム	2倍、4倍	
映像信号出力	<ul style="list-style-type: none"> ・ NTSC 又は PAL コンポジットビデオ信号 ・ S ビデオ出力 	
汎用インタフェース	<ul style="list-style-type: none"> ・ RS-232C ・ IEEE1394 (オプション) ・ LAN (オプション) 	
使用温度・湿度	-15°C~50°C 90%RH 以下	
保存温度・湿度	-40°C~70°C 90%RH 以下	
消費電力	約 5W	
外形寸法/質量	約 101 (W) × 113 (H) × 160 (D) mm (突起部含まず) / 約 1.2kg	

表 5-2-3-1 「TS7302」 (NEC 三栄)

なおサーモカメラにおいて、画面右下にメーカーのロゴマークが常駐しており、それを除去した。

また、RS232C 接続により PC によるサーモカメラの制御及びサブシステム化された基本技術との連携を目的とし、そのための PC を構築した。(図 5-2-3-1、図 5-2-3-2)

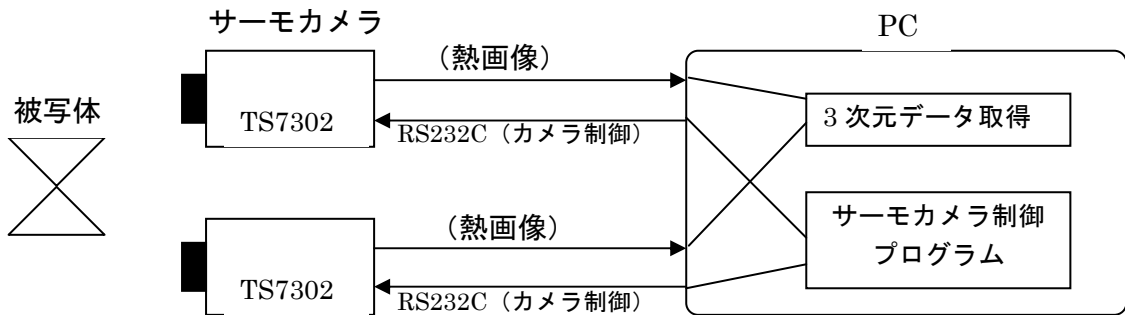


図 5-2-3-1 サーモステレオカメラシステム構成図



図 5-2-3-2 サーモステレオカメラシステム

なお現時点での熱画像の画像入力方式は、ビデオ端子によるものだが入力画像の高品質化を図るため、映像信号を S ビデオ端子からの入力に改造する予定である。現在、サーモカメラの S ビデオ信号は RC-232C 端子と共用となっているが、変換コードを作成し、分波することにより、実現する予定である。また、ピンホールカメラモデルに基づくカメラパラメータのキャリブレーションはアーム型ロボットにより行う予定で、その設置も行った。

[セルフキャリブレーション]

15年度に着手する [セルフキャリブレーション] の研究開発内容を明確にするために、次の構想を練り、システム概要をまとめ、調査（予備実験）を行った。

・構想

屋外環境でステレオを用いて3次元計測を行う場合、3眼などのステレオカメラの基線長が対象までの距離に比べて短いので精度が悪くなる。

そこで基線長の短いステレオカメラを移動して得られた画像を対応付け、基線長の長いステレオ画像として処理する方法を考える。前者をスモールスケールステレオ(SSS)、後者をラージスケールステレオ(LSS)と呼ぶ。

ここでは、画像の対応付けを行うのに、SSSの3次元幾何モデルに基づいた物体認識を利用する。

・システム概要

サブシステム化された基本技術を応用するにあたって、この基本技術に関して、以下に記述する。

サブシステム化された基本技術は、SSSの3次元幾何モデルに基づいた物体認識・運動追跡を行うためのコマンド群の統合システムである。

SSSの3次元幾何モデルに基づいた物体認識を行うとモデルに対する座標変換が得られるので、これにより移動後のカメラのキャリブレーションを行うことができる。(図5-2-3-3参照)

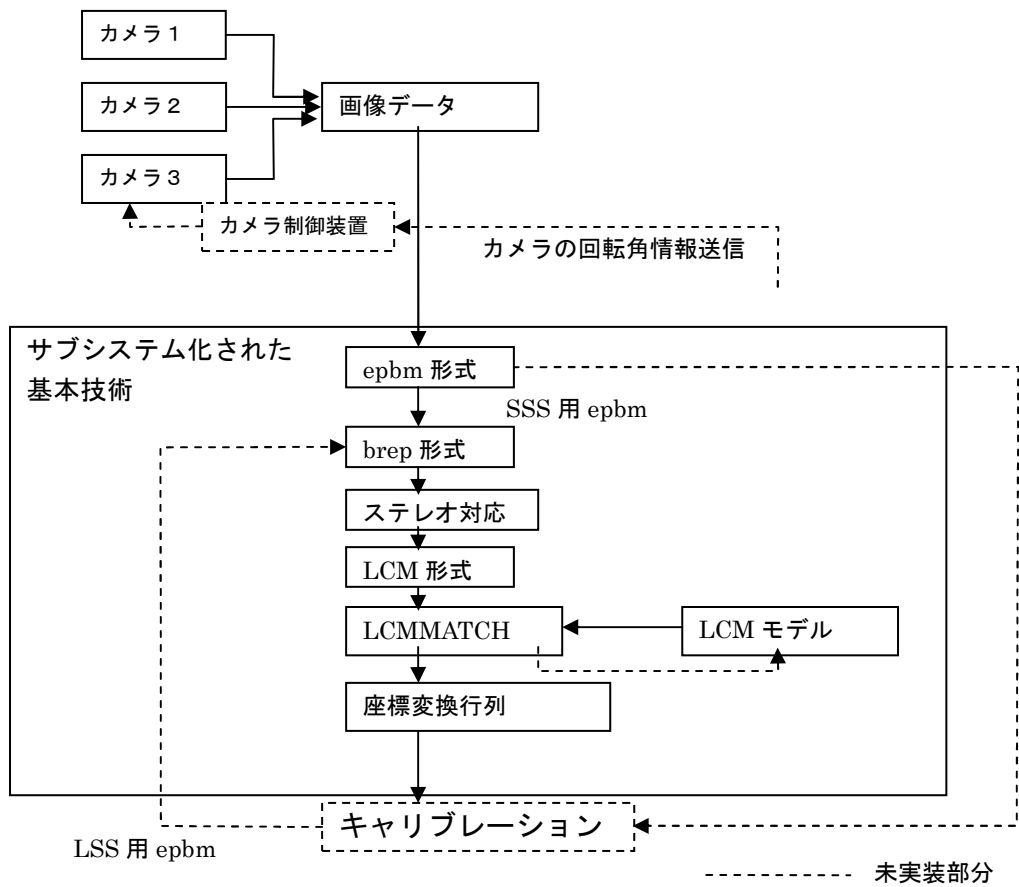


図 5-2-3-3 セルフキャリブレーション用に応用するサブシステム化された基本技術の構成図

・調査

現段階において、3 眼カメラによる「サブシステム化された基本技術」と簡単な立体模型を用いて、SSS での物体認識の予備実験を終了しているが、この結果は15年度以降の継続調査の参考になると確認できた。

- (1) 3 眼カメラから画像を取得し、3 バンド epbm (拡張 pbm) 形式で保存された画像(図 5-2-3-4 参照)

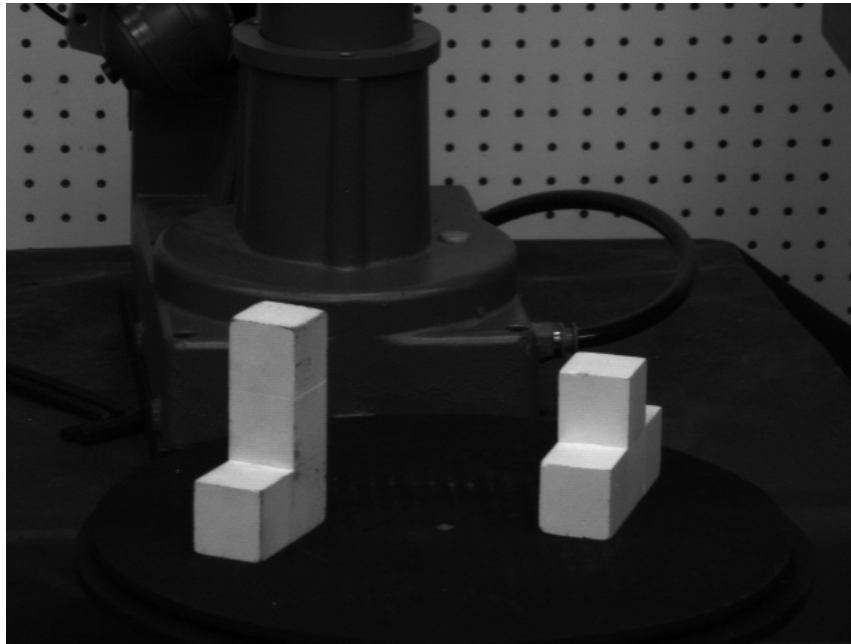


図 5-2-3-4 3 バンド epbm 形式画像の 1 枚目

- (2) 3 バンド epbm 形式から 3 バンド brep 形式に変換された線画(図 5-2-3-5 参照)

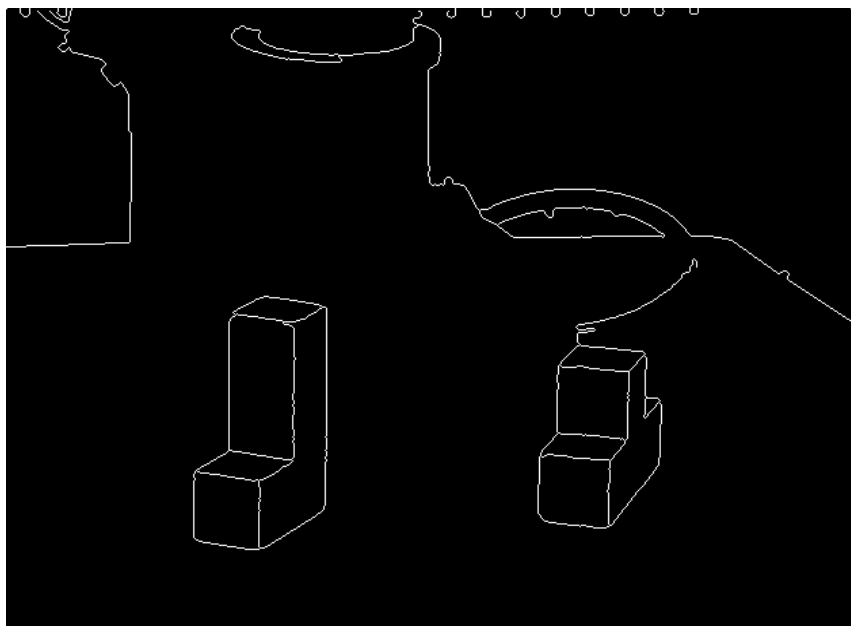


図 5-2-3-5 3 バンド brep 形式線画の 1 枚目

(3) lcmmatch コマンドによる認識後に表示された画像(図 5-2-3-6 参照)

認識に成功すると原画像にモデルの線画が重ね合わせて表示される。

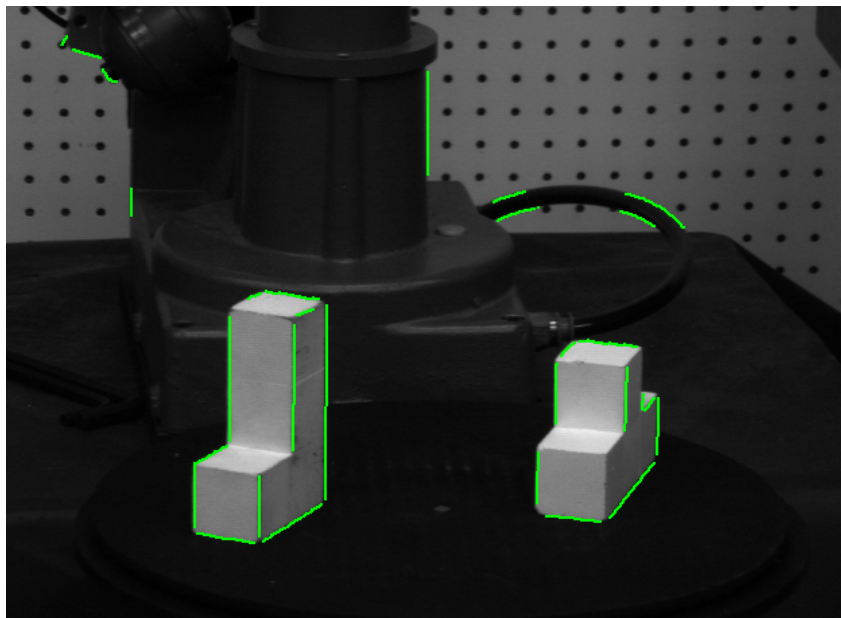


図 5-2-3-6 原画像とモデルの線画の重ね合わせ

5-2-4 まとめ

14年度においては計画通りの成果を得ているが、15年度以降において、[セルフキャリブレーション]が主要な課題である。

5-3 シミュレーションシステムに関する実験の研究

5-3-1 序論

本サブテーマの研究開発全体からみた位置づけは、実用化の観点で実験結果を評価し、必要に応じてシステムの開発部隊、基本技術の研究部隊へフィードバックすることにある。

回転台を用いて、多視点から距離データを計測し、統合する予備実験を行った。これまでに、この実験を行ったことにより、カメラを移動させた場合でも距離データを計測し、統合できることがわかった。また TLS による走査型空中撮影ステレオ画像を用いて、通常のカメラを用いる注視型空中撮影による距離計測の予備実験を行った。さらに、模型被写体の物体認識ができること、3次元映像として画質が良好であることの予備実験を行った。

5-3-2 複数視点の撮像実験

模型を回転テーブルで回転させ、固定カメラで撮影する予備実験を行った。[相関ステレオによる距離計測]

また、サーモステレオカメラシステムによる3次元表面温度分布の計測を始めた。[サーモステレオカメラシステムによる3次元表面温度分布の計測]

近赤外ステレオカメラシステムによる暗闇シーンの距離計測のスケジュール等を検討し、スケジュールを明確にした。[近赤外ステレオカメラシステムによる暗闇シーンの距離計測]

アクティブステレオカメラのセルフアジャストメントについて、調査等を行い、15年度より着手するために、概要をまとめた。[アクティブステレオカメラのセルフアジャストメント]

[近赤外ステレオカメラシステムによる暗闇シーンの距離計測]

平成15年度の初期に実験を開始する予定である。

[サーモステレオカメラシステムによる 3 次元表面温度分布の計測]

サーモステレオカメラシステムの使用は、火災等の災害発生時における災害状況の把握や、災害発生の源（火山、原子力設備等）の熱画像データを取得するために有効な手段と考えられ、そのためのシステムを開発中である。

2 枚の熱画像をステレオカメラシステムにより取得する（図 5-2-3-1）。ステレオシステムのそれぞれの熱画像は、基本技術のサブシステムの処理によって 3 次元データを構成することを主眼としている。そのため、サーモカメラを RS-232C 経由で制御するプログラムを開発した。

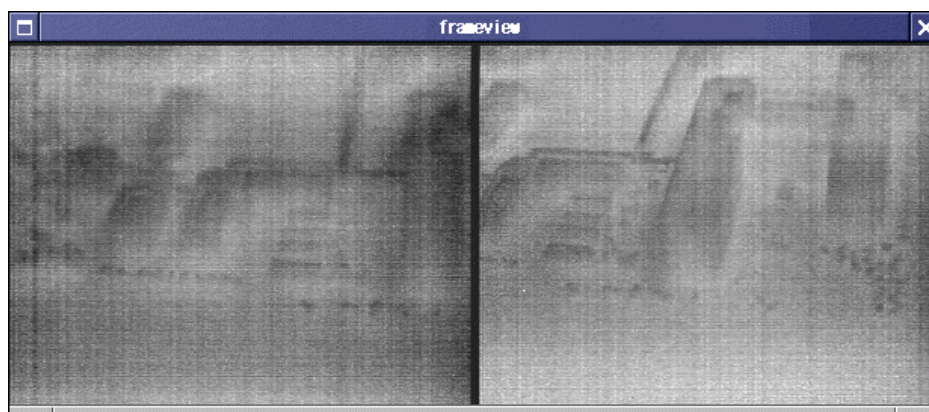


図 5-2-3-1 サーモステレオカメラからの熱画像（モノクロ）

キャリブレーション実行前に得られる画像は以上の例があり、サーモカメラは熱画像から物体認識を行うためサーモカメラ特有のキャリブレーション法を現在検討中である。なおピンホールカメラモデルに基づくカメラパラメータのキャリブレーションはアーム型ロボットにより行う予定で、その設置も行った。

[相関ステレオによる距離計測]

多視点による距離計測のための予備実験を行う環境を整えた。プログラムによる回転テーブルの制御によって、対象物の角度を変えて静止画像を取得し、相関ステレオ法の距離計測を可能にした。これにより1セットのステレオカメラによって、複数の視点からの入力を代替する入力画像を得ることが可能になった。現在は、この1セットのステレオカメラによる入力によって、距離計測の予備実験を行った。

図 5-3-2-2 に、異なる角度から撮影した模型の各ステレオ画像の内、左カメラ画像のみを示す。また、図 5-3-2-3 にそれらを相関法によりステレオ画像間の対応を求めて生成した視差画像を示す。

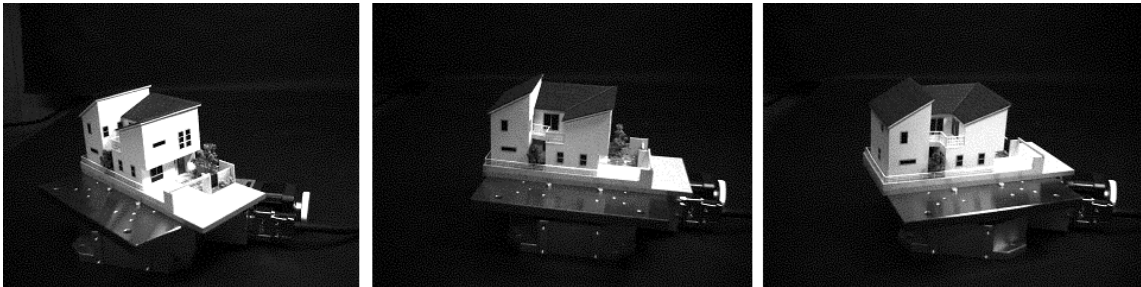


図 5-3-2-2 30度ずつ回転させた民家模型の3枚の画像

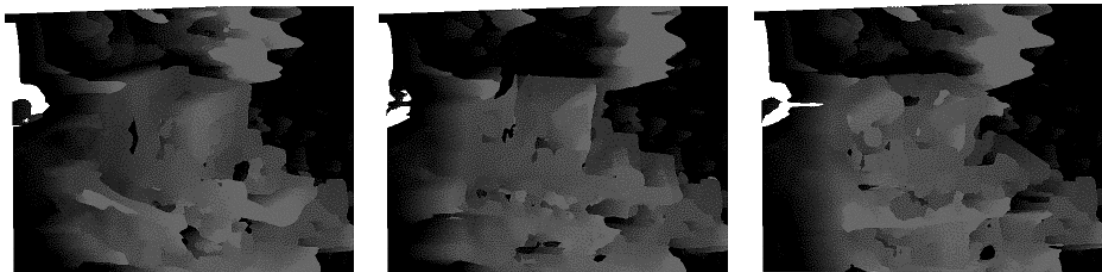


図 5-3-2-3 30度ずつ回転させた民家模型の視差画像

[アクティブステレオカメラのセルフアジャストメント]

カメラの位置・姿勢・焦点距離等のカメラパラメータを常に正確に把握しておくために、首振り角度やズーム量等の指令値と実際のカメラパラメータの関係を把握しておくプレキャリブレーションから値を求め、実際の画像から得られる情報によってそれを微調整してカメラパラメータの精度の向上を図る。これをセルフアジャストメントと呼ぶ。

- ・セルフアジャストメント実行前の例を図 5-3-2-4、図 5-3-2-4 に示す。ここでは既にプレキャリブレーションが行われているものとする。

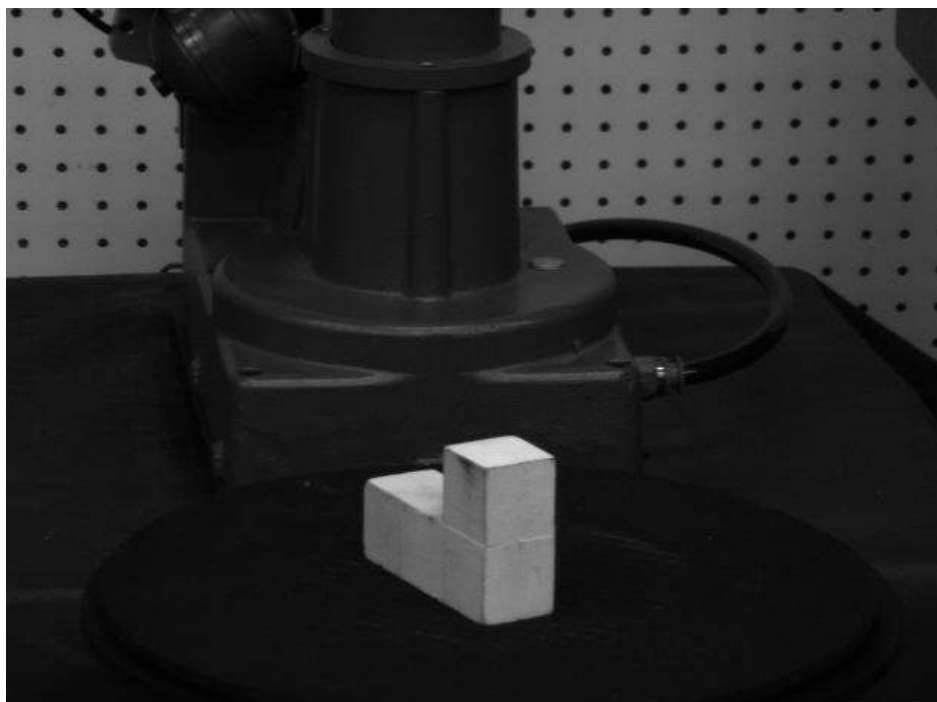


図 5-3-2-4 入力画像

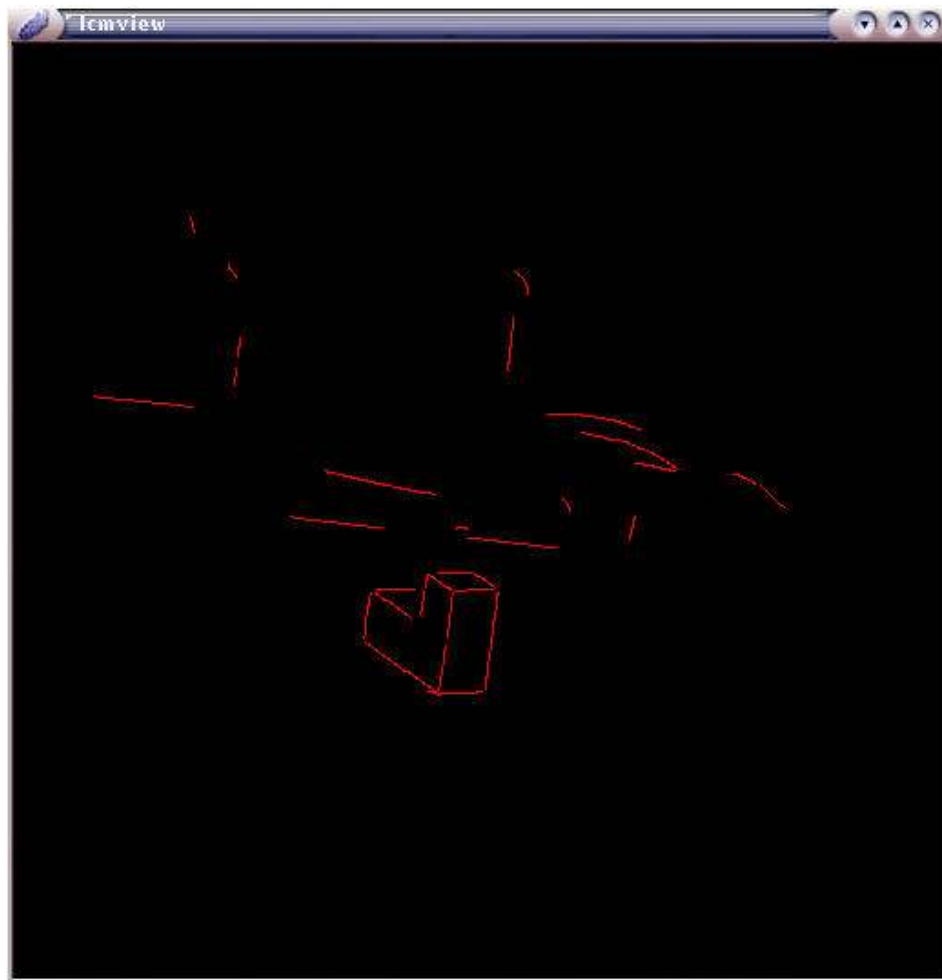


図 5-3-2-5 3次元境界表現 (カメラパラメータ変更前)

- ・機械的にカメラの回転・ズームを制御するプログラムを使い、カメラの首振りを行う。その後、再度画像を取得する。この時の変化を図 5-3-2-6 に示す。この図でモデルが大きく崩れている事が分かる。セルフアジャストメント後のモデルを図 5-3-2-7 に示す。

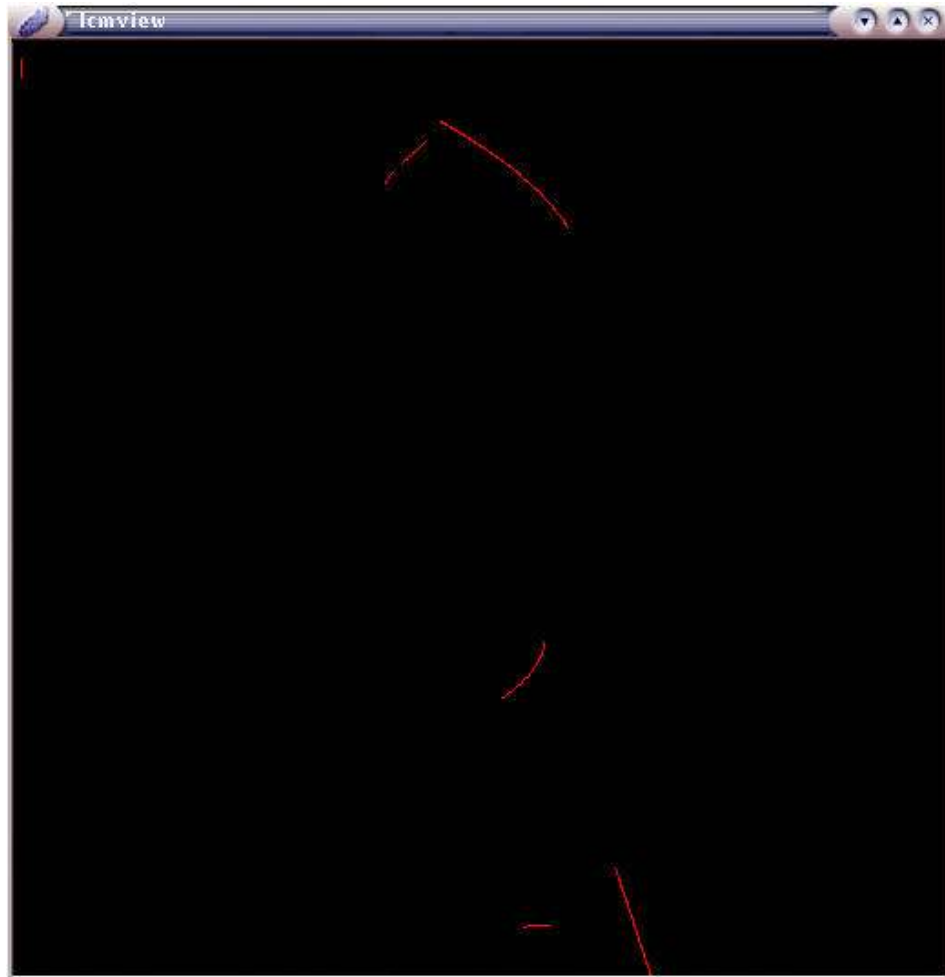


図 5-3-2-6 3次元境界表現 (カメラパラメータ変更後)

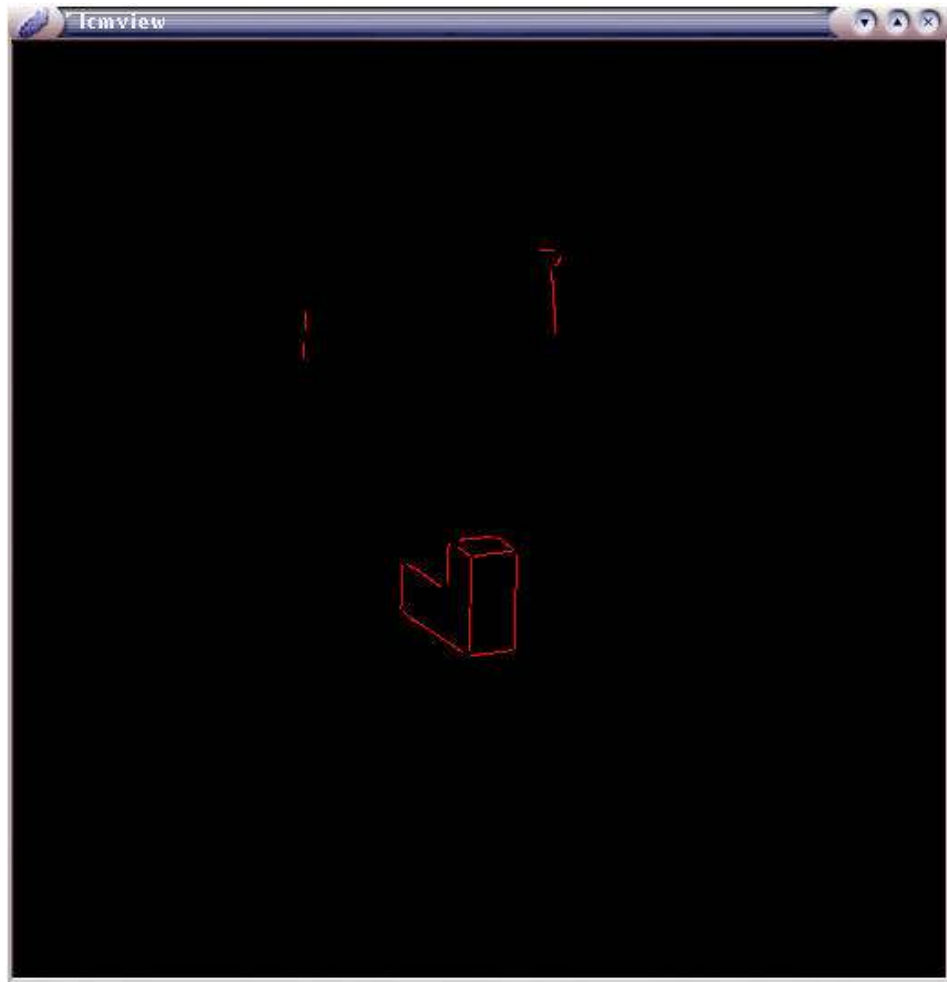


図 5-3-2-7 3次元境界表現 (セルフアジャストメント実行後)

5-3-3 3次元映像の品質実験

相関ステレオ法によって不可避免的に発生する微小ノイズを、少領域として検出することによって除去する処理を開発した。[相関ステレオに関する実験]

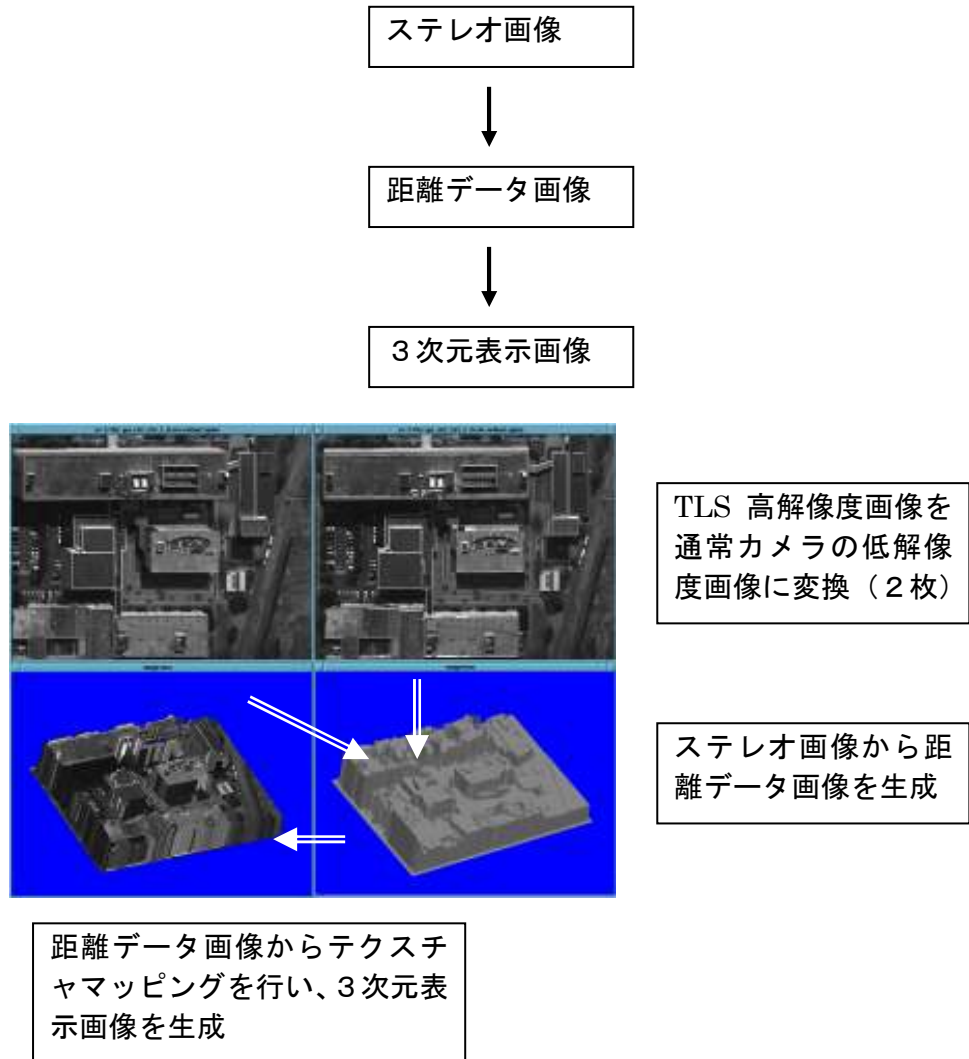
「曲面の表現と照合」に関して、ツールとして開発できたものと、15年度以降に開発に着手するものを明確にし、それぞれのツールに対する考察をした。[曲面の表現と照合]

「環境マップに基づく新規観測データの変化の検出」に関してスケジュールを明確にできた。[環境マップに基づく新規観測データの変化の検出]

更に、TLSによる空中撮影ステレオ画像を用いて、相関ステレオ法による3次元復元の予備実験を行い、通常のカメラによって高精度な距離データを得るために有効な撮影の高度と移動距離の目安を得たが、行ったことの概要を次に示す。

通常カメラで撮影したステレオ画像から相関ステレオ法で距離データ画像を生成し、さらに、テクスチャマッピングを行い、3次元復元画像を生成した。

処理の流れ



[相関ステレオに関する実験]

左右のカメラから得た画像のマッチングにおいて、相関ステレオ法によって視差を算出した際に、発生するノイズを除去する処理を開発した。

左右の画像から求めた視差画像において、一部の値だけ突出している場合など、異常であると思われる視差に対してフィルタリングすることによってノイズが発生する。それらをラベリング [富田・高橋. 画像の B-REP のためのアルゴリズム, 信学技報, 86.] によって小領域として検出し、その周辺の視差から求めた平均値によって置き換える処理を作成した。図 5-3-1-1 から図 5-3-1-3 にその処理の結果を例示する。

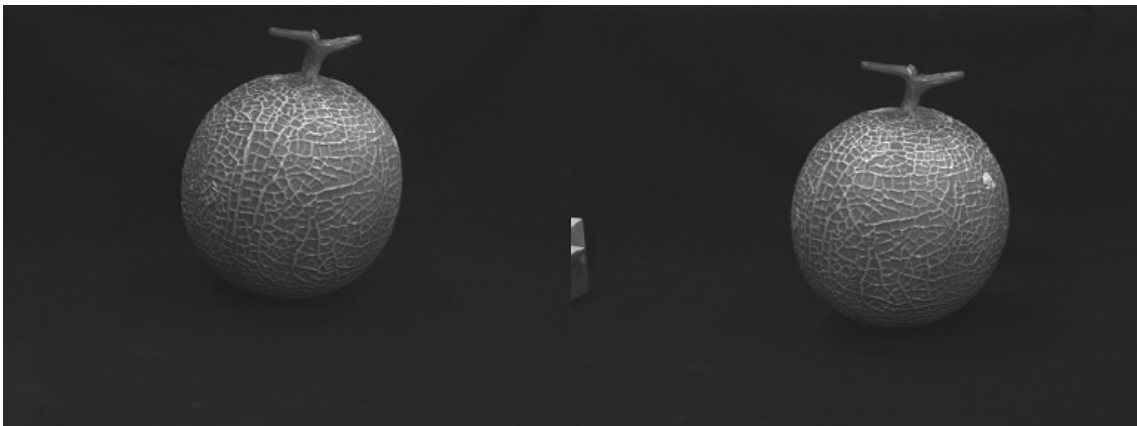


図 5-3-1-1 ステレオ画像 (メロン)

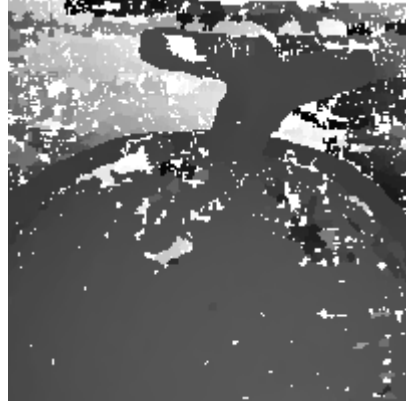


図 5-3-1-2 視差画像の一部を拡大（ノイズ除去なし）

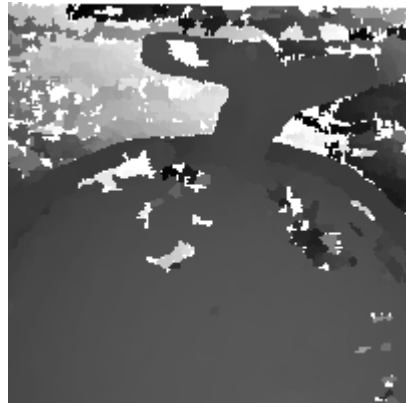


図 5-3-1-3 視差画像の一部を拡大（ノイズ除去あり）

[曲面の表現と照合]

(1) 曲面の表現と照合のためのツール作成

曲面を対象とする場合、距離・形状計測データとして、境界表現 (BREP) データに加えて、レンジデータから曲面を表現することが必要となる。そこで、BREP データからレンジデータに変換するツールの開発を行った。それにより、BREP データからレンジデータを生成でき、レンジデータで表現できる曲面をも表現できるようになった。

レンジデータへの変換では、カメラから見て、同ピクセルに重複する点データは、カメラに近い方を計算し、その点データを有効に、カメラに遠い点データは、無効としている。15年度以降においては、色情報もレンジデータに付加させているので、色表示も可能となる。

次の課題として、レンジデータで曲面を表現するためのネットを生成するプログラムを開発する。

「考察」

- BREP データからレンジデータを作成できる。これにより曲面を表現することができるようになる。
- カメラからの一方向のレンジデータであり多方位のレンジデータの拡張が必要となる。

(2) レンジデータのネット表示

レンジデータを点表示、線表示、法線ベクトル表示及び面表示できるツールは既にあるが、曲面を表現するためのネット表示はできなかったため、レンジデータの表示する機能追加をこのツールに対して行なうことにより、レンジデータにおけるネット形成された全ての点データに対して、ネット表示ができるようにした。

「考察」

- レンジデータのネット表示が可能となり、曲面の表現ができる。
- 全ての点データに対してネット表示するため、細かいネット表現になり、曲面を表現するのに、不必要にネット表現をしてしまう。このため、ネットデータの間引きが必要になると思われる。
- 複数レンジデータ表示に対応している。

(3) 2次曲面サンプルデータ作成ツール

2次曲面の表現と照合を行うプログラムの検証のためのサンプルのレンジデータを作成するツールの開発を行った。2次曲面のサンプルは、楕円面、楕円放物面、双曲放物面、1葉双曲面、2双曲面のデータを作成できる。

2次曲面サンプルデータは、ワールド座標系で作成し、カメラ座標系とワールド座標系の変換のために、変換パラメータも作成

することとし、レンジデータのマップタイプは平面とした。

「考察」

- 2次曲面のレンジデータを作成できる。
- 2次曲面の表現と照合を行うプログラムの検証を行える。

[環境マップに基づく新規観測データの変化の検出]

15年度より保存してある環境マップ（3次元モデル）と新規観測データをマッチングしデータの変化を検出する実験を開始する予定である。

5-3-4 まとめ

計画通りの成果を得ている。15年度開発予定の本実験も一部着手した。

5-4 総括

どのサブテーマも、概ね、計画通り推移している。最終目標の為に、平成15年度に、各サブテーマにおいて、何を研究し、開発し、実験すべきかを、ハード面、ソフト面で、具体的に目標設定できたのが、隠れた大きな成果であった。

平成16年度内に、実用化の為にプロトタイプをつくりあげることが、最終目標の別の言い方だが、初年度は、このプロトタイプにより、必ず実用化する為の初期の研究・開発・実験であったことを報告して締め括りとする。

参考資料、参考文献

特になし。

(添付資料)

1 研究発表、講演、文献等一覧

①論文発表(査読有)

- (1) 河井良浩, 富田文明, ステレオ視における3次元復元の高精度化, 画像の認識・理解シンポジウム MIRU2002, Vol. 1, pp. 159-164(2002)
- (2) 角保志, 石山豊, 富田文明, 3次元物体の位置決めによる移動ロボットの实時間自己位置推定, 画像の認識・理解シンポジウム MIRU2002, Vol. I, pp. 317-322 (2002)
- (3) Yasushi Sumi, Yutaka Ishiyama, Fumiaki Tomita, Hyper Frame Vision: A Real-Time Vision System for 6-DOF Object Localization, Proc. of Int. Conf. on Pattern Recognition, Vol. III, pp. 577-580 (2002)
- (4) 植芝俊夫, 富田文明, 回転行列を含む評価関数の非線形最適化, 情報技術レターズ, 1, pp. 153-154(2002)

②口頭発表

- (1) Toshio Ueshiba, Fumiaki Tomita, Calibration of Multi-camera Systems Using Planar Patterns, Proceeding of the Workshop on Science of Computer Vision, pp. 86-93(2002)
- (2) 植芝俊夫, 富田文明, 平面パターンを用いた複数カメラシステムのキャリブレーション, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2002-CVIM-135 (2002)
- (3) 河井良浩, 深瀬勇太郎, 池野良平, 石山豊, 富田文明, 自律行動型ヒューマノイド HRP-2P 用視覚システムの開発, FIT2002, I-40 (2002)

③招待講演

- (1) 富田文明, 3次元視覚システムの技術動向と展望, (財)日本情報処理開発協会(JIPDEC)先端情報技術研究所(AITEC)「人間主体の知的情報技術に関する調査研究」ワーキンググループ第4回会議(2002)
- (2) 河井良浩, 高機能3次元視覚システム VVV, (財)ソフトピアジャパン講演会(2002)
- (3) 富田文明, CVはロボットの眼になり得るか?, 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2002-CVIM-135 (2002)
- (4) 富田文明, 河井良浩, 新世代視覚技術の多様な実用化に向けて, 平成14年度NEDO先端技術講座(2003)