

NAIST-IS-MT9851100

修士論文

三軸角度センサと汎地球測位システムを用いた 多視点ステレオ画像の位置合わせに基づく 実環境の再構成

松川 昌洋

2000年2月14日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報システム学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士(工学)授与の要件として提出した修士論文である。

松川 昌洋

審査委員： 横矢 直和 教授
千原 國宏 教授
竹村 治雄 助教授

三軸角度センサと汎地球測位システムを用いた 多視点ステレオ画像の位置合わせに基づく 実環境の再構成*

松川 昌洋

内容梗概

近年、計算機により仮想環境を構成することが盛んに行なわれている。中でも、屋外実環境を仮想空間へ取り込む、いわゆる実環境の仮想化は現実環境のシミュレーションを行なえる点からも需要が高い。屋外実環境の仮想化を行なうには、実環境をカメラで撮影しステレオ法などにより再構成する必要がある。しかし、従来は撮影時のカメラの位置姿勢がわからないという理由から、カメラ画像間の対応を求めるために多くの人手が必要であった。

そこで本研究では、カメラの位置姿勢を屋外においても計測できる機器を用いて、実環境の再構成を自動で行なう。本研究ではカメラの撮影位置姿勢を求めるために汎地球測位システムと三軸角度センサを用いる。これらの情報によりエピポーラ線の平行化を行ない、ステレオ法により屋外実環境の各部を再構成する。また、再構成された屋外実環境の各部モデルを統合し一つのモデルを作成する。しかし、計測されたカメラの位置姿勢に誤差があるため、再構成されたモデルの平面同士の隣接性制約を考慮して、各部のモデルを統合する。

本手法により実環境の再構成の際にほとんど人手を必要とせず、自動で屋外実環境の三次元モデルを生成することが出来る。また、実際に本学における建物を再構成し、本手法の有効性を確認した。

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報システム学専攻 修士論文, NAIST-IS-MT9851100, 2000年2月14日.

キーワード

仮想環境, 屋外実環境再構成, 多視点ステレオ画像, エピポーラ線平行化, 三軸角度センサ, 汎地球測位システム

Reconstruction of Outdoor Environmental Model from Multiple Partial 3-D Models Reconstructed Using Gyro Sensor and GPS. *

Masahiro Matsukawa

Abstract

Recently, various virtual environments are created by using digital computers. Especially, there is a big demand for virtualized reality of an outdoor environment or a reconstruction of it in a virtual space, as such an environment in a virtual space, a real environment is usually measured by using stereo matching of images captured by a camera. However, such a method usually consumes lots of manual operation to determine correspondences between stereo images, since it is difficult to measure camera parameters accurately in an outdoor environment.

In this paper, a method for an automatic reconstruction of an outdoor environment is proposed. The method uses a GPS(global positioning system) receiver and gyro sensor to measure an exact location and orientation of an camera for image acquisition. By using these location and orientation data, stereo images, of an outdoor environment are rectified for stereo measurement. Then the method merges multiple partial models of an outdoor environment to construct an entire 3-D model. In this process, proximity constraints of adjoining faces are used to compensate for an error introduced by the multiple stereo measurements.

*Master's Thesis, Department of Information Systems, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-MT9851100, February 14, 2000.

The method proposed reduces the amount of manual operations during the reconstruction process. Successful reconstruction of a campus building demonstrates effectiveness of the method.

Keywords:

Virtual Environment, Reconstructed Outdoor Environment, Multiple Stereo Images, Rectification, Gyro Sensor, Global Positioning System

目次

1. はじめに	1
2. 実環境の再構成手法の関連研究と本研究の位置付け	3
2.1 手動による再構成手法	3
2.2 自動による再構成手法	4
2.3 本研究の位置付けと方針	5
3. 屋外環境構造の再構成	7
3.1 カメラの位置姿勢の計測	8
3.2 ステレオよる三次元情報取得	10
3.3 平面推定処理	13
3.3.1 画像の領域分割	13
3.3.2 平面領域の推定	18
3.4 多視点データの統合	20
3.5 ステレオ画像の隣接性を考慮したモデルの形成	22
3.5.1 複数存在する同じ平面の統合処理	23
3.5.2 隣接性を考慮した平面の接合	25
4. 実験	28
4.1 実験環境	28
4.2 実験結果	32
4.3 考察	34
5. おわりに	38
参考文献	40

目 次

1	三次元モデル獲得までの処理手順	7
2	ジャイロセンサの三軸に対する配置	9
3	GPS の原理	10
4	D-GPS の原理	11
5	HSV6 角錐カラーモデル	12
6	平面推定における処理の流れ図	14
7	領域分割処理手順	15
8	クラスタ間統合説明図	17
9	ロバスト推定と最小自乗推定	18
10	平面推定アルゴリズムの説明図	19
11	カメラ座標系と世界座標系との位置関係	21
12	異なったステレオペアより復元された同じ面の統合処理	24
13	隣合う面同士の接合処理	26
14	対象物体に対するカメラ配置	29
15	GPS の外観	31
16	三軸角度センサの外観	31
17	ステレオペア 2 に対する復元処理結果	33
18	ステレオペア 1 により得られた三次元モデル	35
19	ステレオペア 2 により得られた三次元モデル	35
20	ステレオペア 3 により得られた三次元モデル	36
21	ステレオペア 4 により得られた三次元モデル	36
22	統合後の三次元モデル	37
23	補正後の三次元モデル	37

表 目 次

1	実験において利用したパラメータ	30
2	各センサの実測データ	30

1. はじめに

計算機内で仮想的な環境をコンピュータグラフィクス (CG) で構築し、利用者にあたかもその環境内に居るかのような体験をさせる仮想現実感 (VR: Virtual Reality) の研究が盛んに行なわれている [1, 2, 3, 4]. VR 技術を用いて構築された仮想環境では CG による様々な表現が可能であるため、医学、建築、芸術など多くの分野で応用されている。そのなかでも、現実環境と同様のモデルを持つ仮想環境を構築することで、現実環境に居る感覚を利用者に与えながら現実では実現困難な体験が可能となるため、現実環境のシミュレーションなどへの応用も期待されている。その例として、原子炉などの実際は入ることのできない場所における作業の訓練 [4] や、建造物を建設する前に景観に与える影響を事前に評価する景観シミュレーション [3] などが挙げられる。

しかし CG のみで表現された仮想環境では、現実環境と同様の臨場感を表現するには写実性の点で限界がある。そこで、現実環境の情報を計算機に取り込み、利用することで高い写実性を持った仮想環境を構築する手法が提案されている [5, 6, 7, 8, 9, 10]. 代表的な手法としては、人手によって作成した CG のモデルに実写画像を張り付けることで、写実性の高い三次元モデルを作成する手法 [11] などが挙げられる。これらの手法は、モデルの作成を人手により行なうため、完成度が高いモデルが作成可能であるが、作成コストが高いという問題があり、大規模な現実環境を再構成するのは困難である。

この問題を解決するために、従来研究されているコンピュータビジョンの手法を利用して、実写画像から現実物体を再構築する研究が行なわれている。しかし、実写画像の解析を行ない現実物体を再構築することは、困難な問題であるため、全行程を自動化せず人手による作業の補助として利用し作成コストを軽減する手法が多い特に対象物体が屋外環境下に存在する場合、その照明条件や撮影条件の複雑さから、ほとんどの再構成手法は手作業に依存している [10, 12, 13, 14]. そこで本論文では、屋外環境に存在する対象物体の三次元モデルを自動で獲得することを目的とし、屋外環境を多視点から撮影した画像を用いて再構成する手法を提案する。

実写画像から撮影されている現実物体を再構成する際、一般に用いられる手法

に、2枚の画像から三角測量の原理に基づいて再構成を行なうステレオ法 [15] がある。この手法は、画像を撮影したカメラの相対的な位置関係と姿勢が求まれば再構成することができる。しかし、屋外環境下では、建物のような大きな対象物体が想定されるため、カメラ間の距離が大きくなり相対的な位置関係と姿勢を厳密に求めるのは困難である。またそのような場合、二視点からの画像で対象物体全体を再構築することは不可能である。そこで本研究では、撮影地点を複数設定し、撮影時に汎地球測位システム (GPS: Global Positioning System) と三軸角度センサを用いて各撮影地点におけるカメラの位置姿勢を得る。それらの関係からエピポーラ線の平行化を行ない、ステレオ法を用いて各視点における奥行き情報を獲得する。得られた各視点での奥行き情報を用いて三次元モデルを統合し、屋外環境の再構成を行なう。モデルの統合の際、推定平面同士の画像上での隣接性を考慮して三次元モデルを構成することで、各計測機器の誤差の影響を軽減させる。

以下2章では、実環境の再構成手法の関連研究と本研究の方針について、3章では、GPS と三軸角度センサを用いた実環境の再構成手法について述べる。次に4章では、提案手法を用いた実環境の再構成実験とその結果について述べる。最後に5章で本論文をまとめる。

2. 実環境の再構成手法の関連研究と本研究の位置付け

屋外環境にある建物などを仮想環境内に再構築する場合、完成度の高いモデルを作成するために、複数画像内の対応点を手動により決定する手法がある。これらの手法では精度の高い三次元モデルが作成できるが、撮影する環境が複雑になる場合、人的作業コストが高くなる。一方、この問題を解決するために、画像処理により対応点探索を自動化する試みもある。しかし、屋外環境を撮影する場合、撮影地点の周辺環境や天候によって画像が変化するため、全工程での自動化は困難である。そこで人手にかかる作業を減少させる手法が提案されている。

そこで、本章では現実環境を仮想環境に再構築するための従来手法について説明する。従来手法は大別して、モデルの制作過程において手動によるものと、自動によるものがある。以下に、それぞれの手法について述べ、本研究の位置付けと提案手法について述べる。

2.1 手動による再構成手法

手動による手法では、三次元モデルの作成において複数の画像間の対応点を決定するものがある [10, 12, 13, 14, 16, 17]。これらの中には近年、グラフィカルユーザインタフェース (GUI) の発達に伴い、その作業を軽減するものが増えてきている。代表的なものには以下に示す PhotoModeler や SketchVision などがある。

PhotoModeler[16] は、環境を構築するための画像を複数枚撮影し、画像内の特徴点同士を手動で指定する。この場合、複雑なテクスチャ画像を持った物体に対しても対応点探索法による誤対応がおこらず、正確なモデルを作成することが可能である。しかし、対応点を設定する作業は、試行錯誤の入力となり、また、正確なモデルを作成するためにはより多くの画像の対応点を探す必要がある。このため、大規模な都市環境のモデル化には不向きである。

SketchVision[17] では、現実環境をビデオカメラなどで撮影する。その映像を入力として、被写体の形状を操作者が約 20 種類のプリミティブに割り当てることによって、三次元再構築を行う。

Donikian[3] は大規模都市環境の仮想化を行うために、地図情報もとに三次元再

構築を行っている。この場合、再構築する対象の規模が大きいため、モデルの作成には膨大な時間を必要とする。

以上のように、三次元再構築を人手を介して行う方法では精度の高いモデリングが行える半面、再構築する環境が大規模あるいは複雑になるほど、その人的作業コストが高くなり、モデルを作成することが困難となる問題がある。

2.2 自動による再構成手法

モデル作成を手動で行う手法では、作業に要する時間的コストが高いという欠点があった。そこで、画像の入力からモデル作成までを自動化、あるいは手動による作業を最小限のものにする手法が提案されるようになってきた [18, 19, 20, 9]。自動化を行うために用いられる入力情報としては複数の静止画像を用いて対応点を探索する場合と、ビデオなどで取得した動画像系列により特徴点の追跡を行うものがある。以下ではモデル作成までを自動化する手法について説明する。

自動化手法の代表的なものには、Kanadeら [18] の手法がある。この手法では入力として屋外の動画像を取得し、注目画像に対して、その前後の画像との対応点を求めることにより、カメラの動きと対象物体の形状を分離する手法である。この手法の欠点としてはカメラの投影モデルを正射影と仮定しているため、対象物体の奥行きが変化した時の誤差が大きくなることが挙げられる。

川崎ら [19] の研究では、実環境を撮影した動画像から EPI(Epipole Plane Image) を生成することにより、実環境における三次元情報を得る。EPI とは画像を時系列で並べた場合に、時間軸に平行な面でスライスしたときの断面の画像を指し、動画像からの三次元再構築のために有用である。この手法の欠点としては厳密な計測位置の情報を必要とするため、撮影時の移動速度を一定に保つ制限がある点が挙げられる。また、撮影時の移動経路を直線にする必要があるため、計測範囲が制限される。

杉本ら [20] は三眼ステレオによる撮像系を構成することによって三次元再構築を行っている。この手法ではステレオ撮像系を構成するための正確なカメラ位置と姿勢情報が必要である。しかし、実際の屋外環境構造に適用するには、カメラ位置と姿勢の計測が困難である。

鮫島ら [21] は屋外環境の物体の形状を直方体であるという拘束条件を設定することによって三次元再構築を行っている。この手法では形状に制限があることから、誤対応による影響が少ないという利点があるが、対象となる環境が制限されるという欠点がある。

以上のように三次元再構築を行う場合に人手を最小限のものとする手法は数多く存在するが、対象物体やカメラの動きなどに制限があり、多様な実環境を忠実に三次元再構築することは困難となっている。

2.3 本研究の位置付けと方針

三次元再構築に要する作業を自動化する手法では計測する屋外環境が複雑になる場合においても作業コストは一定で済む。しかし、この場合、手動で行う手法と比較して、画像間の対応点の誤差を修正することが困難である。そこで、本研究では屋外環境において物体の三次元再構築を行う際に、その作成過程を自動化し、より精度の高いモデル構築を目的とする。

屋外環境におけるモデル構築の自動化に関しては2つの問題がある。1つは屋外環境においては標準的なステレオ撮像系を構成することは困難となること、もう1つは対象とする物体が複数存在する場合に、求めた奥行き情報の信頼性が低いことである。

1つめの問題を解決するために、一般的なステレオ撮像系を生成することを行う。提案手法では、撮影された画像情報だけでなく、撮影時のカメラの位置と姿勢を求めることによって、複数画像間のエピポーラ線の平行化を行う。これにより、標準ステレオ撮像系で撮影された画像が生成可能となり、精度の高い三次元奥行き推定が可能である。ただし、エピポーラ線の平行化を行なうためにはカメラパラメータとしてそれぞれのカメラの位置、姿勢を知る必要がある。それらを計測する機器として、カメラの位置情報の取得には汎地球測位システム (以下、GPS) を用い、カメラの姿勢情報の取得には三軸角度センサを用いる。

2つめの問題を解決するために、ステレオ視により得られる奥行き情報に対して、不正確な奥行き情報の影響を受けにくい三次元モデルの構築を行う。この場合、ステレオにより画像の奥行きを求める際に、一つの問題が発生する。それは、

ステレオを構成する両画像の同じ位置を表す点，すなわち対応点を見つけ出す対応点探索問題である．この問題は，実際カメラの色や，照明条件など様々な要因が考えられるため，単純に似ている色情報によって全探索するのは信頼度が低い上に効率が悪い．そこで，一定の窓の大きさをもつテンプレートを比較するテンプレートマッチングを行なうことによって，信頼度の高い対応点を得る．具体的には，基準となる画像上の一点に対してその点を中心とした矩形画像(テンプレート)を参照画像上の部分と比較してどの位置と照合するかを探索するものである．ここでは，信頼度の高い正規化相互相関を評価尺度として使用する．

これらの問題を解決した上で，片方の画像を基準画像として領域分割を施し，分割された領域は平面を構成すると仮定する．その領域内で求めた奥行き情報から，領域ごとの平面方程式をロバスト推定を用いて推定する．これにより，各カメラ位置による三次元モデルが作成され，それらを統合することを行う．しかし，実際には各計測機器に誤差が生じるため，統合の際に隣接したステレオ画像との類似性からモデルの形状を補正することで，より高精度な屋外環境の三次元再構築を行う．

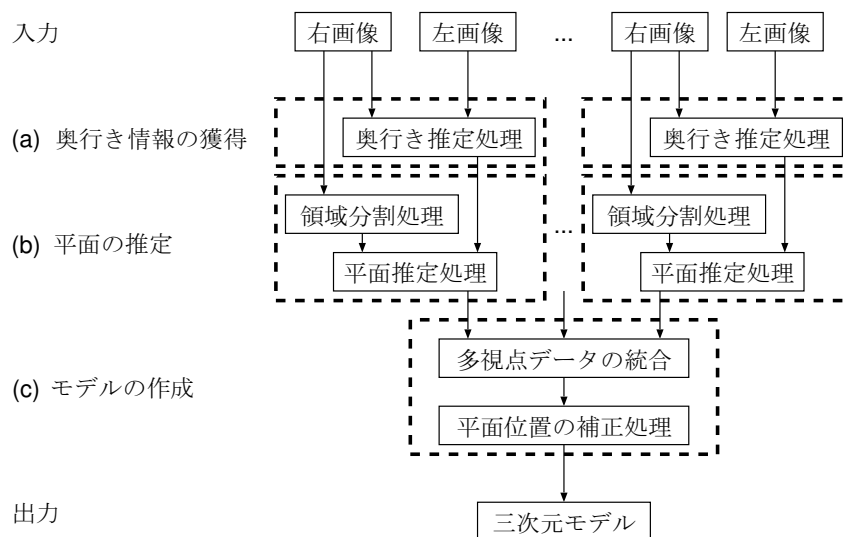


図 1 三次元モデル獲得までの処理手順

3. 屋外環境構造の再構成

本章では，屋外環境構造を再構成するための提案手法について述べる．提案手法の処理は以下の手順で行なわれる (図 1)．

- ステレオ視を用いた奥行き情報の獲得 (図 1(a))

対象物体を複数の地点で撮影し，撮影時のカメラの位置と姿勢を GPS と三軸角度センサによって計測する．次に，ステレオ撮像系を構成する 2 つの撮影地点を複数決定し，計測されたカメラの位置と姿勢をもとに，それぞれのステレオ画像対のエピポラ線を平行化し，対応点探索を行ない奥行きを推定する．

- 平面の推定 (図 1(b))

入力画像となるステレオ画像対の右画像に対して領域分割を施す．その結果，得られたそれぞれの領域が一つの平面を構成すると仮定する．ステレオ視によって得られた奥行き情報を用いて，それぞれの領域の平面方程式をロバスト推定により決定する．

- 多視点データからの三次元モデルの作成 (図 1(c))

各ステレオ対から得られた平面群を，撮影地点の位置と姿勢を元に統合する．統合した後，計測機器の測定誤差による平面のずれを各平面の画像上での隣接関係をもとに補正し，三次元モデルを生成する．

以降，それぞれの処理について詳細を述べる．

3.1 カメラの位置姿勢の計測

ステレオ撮像系を構成するためには，カメラパラメータとしてそれぞれの撮影位置と姿勢を知る必要がある．しかし，そのパラメータを求めるためには，カメラ単体では不可能である．そこで以下に述べる三軸角度センサと汎地球測位システムを用いることによってそれらの値を計測する．以下では，それらのセンサによる計測方法について述べる．

三軸角度センサによる角度の計測 カメラの姿勢情報を計測する機器として三軸角度センサを用いる．三軸角度センサは，角速度の変化量を蓄積して，その姿勢を計測する機器である．この機器は，回転する物体に対して力を与えることによって発生するコリオリの力を利用したものである．この力を求める素子は，一軸に対する傾きしか計測出来ないため，素子を三次元座標軸の各々の軸に対して計三つ取り付ける．この場合，基準となる三軸は y 軸となるセンサが地球の重力方向と一致する方向，そして x 軸を真北となる方向として規定した座標系を設定する (図 2)．この装置をカメラに取り付けることによって撮影時のカメラの姿勢を計測する．

汎地球測位システムによる位置の計測 カメラの位置情報を計測する機器として，汎地球測位システム (以下，GPS) を用いる．このシステムは地球の衛星軌道上を回る GPS 衛星との位置関係を求めることによって地上の測定位置における緯度，経度及び高度を計測するものである．

この位置計測の原理について説明する．まず，図 3 に示すように 4 個以上の衛星を同時に観測する．それぞれの衛星から送られてくる情報は，衛星自

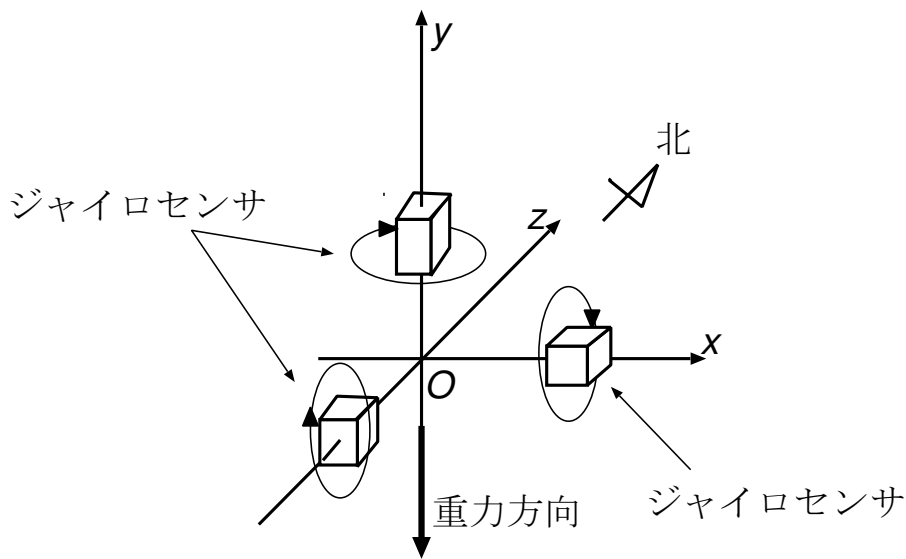


図 2 ジャイロセンサの三軸に対する配置

身の位置情報である。その情報とその到着時刻から測地点の位置を計算し、三次元座標を得ることで測位を行なうものである。ただし、この測量では、GPS から送られてくる位置誤差が大きいため精度の高い値を必要とする計測方法としては適さない。そこで、次に述べる D-GPS(Differential GPS) による計測を行なうことにより、誤差の少ない計測結果を得る。

D-GPS では図 4 のように、あらかじめ位置がわかっている参照点で測位誤差を求め、それにより計測点での測位結果を補正して誤差を改善する方法である。実際には、参照点と未知点で同時に測位を行なうことが必須である。ただし、GPS によって得られる三次元位置というのは緯度経度そして高度の値であるため、そのままでは入力値として用いることができない。そのため相対位置をメートルとして求めることによって入力の値とする。

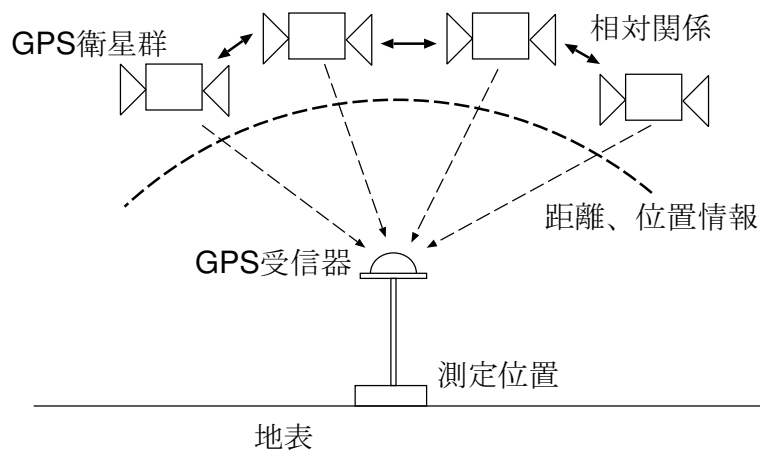


図 3 GPS の原理

3.2 ステレオによる三次元情報取得

以上述べた二つの計測機器の位置姿勢情報，及びその位置で取得した画像によってステレオ撮像系を構成して奥行きを推定する．

本研究では，画像間の特徴領域として，エッジが存在する画素に対して対応点の探索を行なう．また，より信頼性の高い探索を行なうため，画像の輝度情報だけではなく，色情報を用いた対応点探索を行う．

エピポーラ線の平行化

一般にステレオ視による奥行き推定では，構成されるステレオペアの光軸が平行となるような標準ステレオ撮像系を構成して奥行きを推定する．本研究ではこの撮像系ではなく，一般的なステレオ撮像系による撮影を行う．そして，撮影されたステレオペア画像に対して，標準ステレオ撮像系の画像へと変換するエピポーラ線の平行化処理を行う．この処理は，二つのカメラパラメータから光軸が平行となるようにカメラを配置した際の投影面を求める．その投影面に対して，撮影画像を再投影するための変換行列を求めることで画像変換を行なう．

特徴領域の抽出

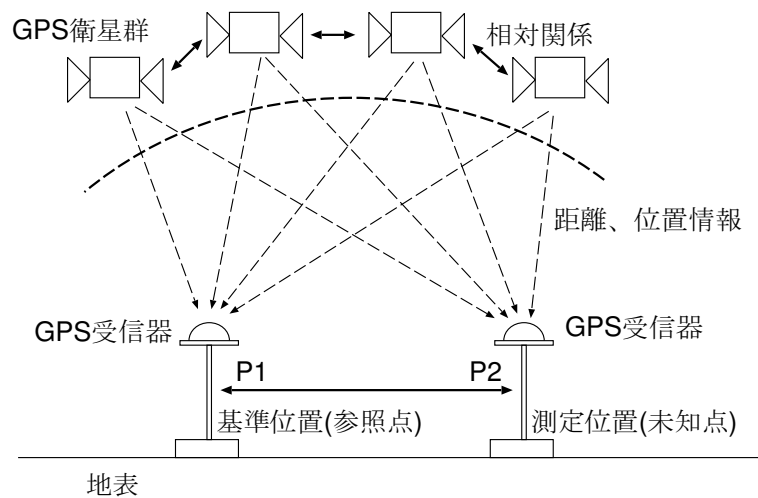


図 4 D-GPS の原理

入力画像の特徴領域を抽出するために、画像を輝度変化の大きな部分と小さな部分に分類する．この処理手順は Sobel フィルタを用いたエッジ画像を求め、閾値によってその値を二値化する．この場合の閾値決定処理として、ここでは大津の判別分析法 [22] を用いる．この処理で求めた閾値により濃淡画像から二値画像に変換し、視差の探索領域を抽出する．

テンプレートマッチングによる対応点探索

ステレオ視において、基準画像の中に見えている点が参照画像のどこに見えているか探し出す対応点探索問題の手法として、画像の輝度値を特徴量としたテンプレートマッチングを行なうことで処理する．このテンプレートマッチングの評価基準として、両ステレオ画像間の色情報を用いた正規化相互相関を行なう．

色情報に基づく正規化相互相関

テンプレートマッチングにおける評価基準について、入力画像の輝度情報だけでなく、色情報も情報源とする．ここでは、入力画像を HSV 色空間へ投影し、輝度 (V) と色相 (H) の双方を用いたマッチングを行う．HSV 色空間の特徴として色相は彩度 (S) が小さい場合には情報量は少なく、逆に彩

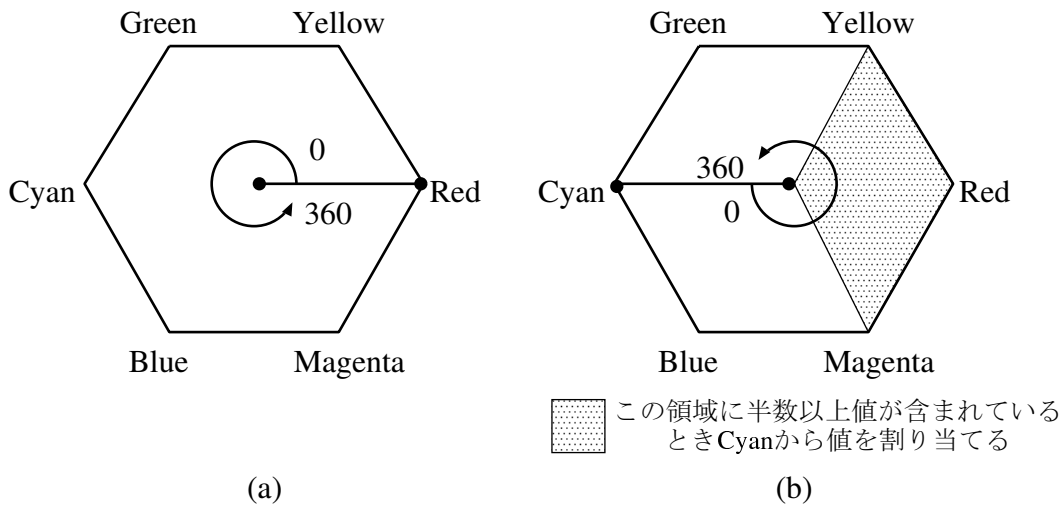


図 5 HSV6 角錐カラーモデル

度が大きい場合、色相は多くの情報量を持つので、実際には以下のような評価関数 d を相関値を調べる際の尺度として用いる。

$$d = \{S \cdot H + (1 - S) \cdot V\} \quad (1)$$

但し、

$$\begin{cases} H : \text{色相情報での正規化相互相関値} \\ V : \text{輝度情報での正規化相互相関値} \\ S : \text{彩度情報 (0 \sim 1)} \end{cases}$$

この評価関数 d も -1 から 1 の値を取り、値が大きいほど画像が類似していることを示している。各色情報の評価方法としては HSV 六角錐カラーモデル [15] に基づいた値の変化を考える。色相値は連続しているが、実際には図 5(a) のように数値で表される。しかし、Red 領域中に値が反転する状態になる場合も考えられる。その場合は図 5(b) のように先に補色の大きさだけ重みづけを行ない、処理の後差し引くようにする。

以上の処理によって両ステレオペア間の対応点が求まる。この処理により、一般的なステレオ撮像系で撮影された画像に対しても、信頼性の高い奥行き情報を得ることが出来る。

この処理により得られる奥行き情報は、エピポーラ線を平行化するために変換を行なったステレオ画像に対して得られるものである。最終的な奥行き情報は、撮影された入力画像の位置・姿勢の関係に合わせるため、基準入力画像に対しての奥行き情報を必要とする。そこで、エピポーラ線の平行化処理を行なった変換行列の逆行列を求め、その逆行列を、得られた奥行き画像に適応することで、撮影時の入力画像に対する奥行き情報を得る。

3.3 平面推定処理

奥行き情報を求めた後、平面推定を行なう対象領域の奥行き情報を抽出する。本手法ではまず、前処理として入力画像に対して領域分割処理を施す。それぞれの分割された領域が一つの三次元平面を構成すると仮定し、その領域中に存在する奥行き情報によって、その平面の法線ベクトルを求める。次に推定された三次元平面を世界座標系の空間中に投影し、撮影された現実環境における幾何形状を描画する。以下に、各処理の詳細を説明する。

3.3.1 画像の領域分割

入力画像となる基準ステレオ画像に対して領域分割処理を施す。まず、平面を構成する対象領域を導出するために大まかな領域分割を行なう。この手法として、画素の輝度値などの特徴量を用いた K 平均アルゴリズム処理 [23] を行なう。次にその出力中で発生した小領域を制限するため、多数決フィルタ処理を行なう。また、ある一定画素数以下の領域は、その領域に隣接する画素数の最も多い領域に吸収する処理を施して、小領域を統合する。これらの処理を施して得た大まかな領域分割結果をもとに、各クラスタ間同士の統合処理を行ない、最終的な領域分割結果とする。以下に各処理手順を詳しく説明する。

1. K 平均アルゴリズムによるクラスタリング処理
2. 小領域の除去処理
3. クラスタ間境界情報と色情報に基づくクラスタ間の統合処理

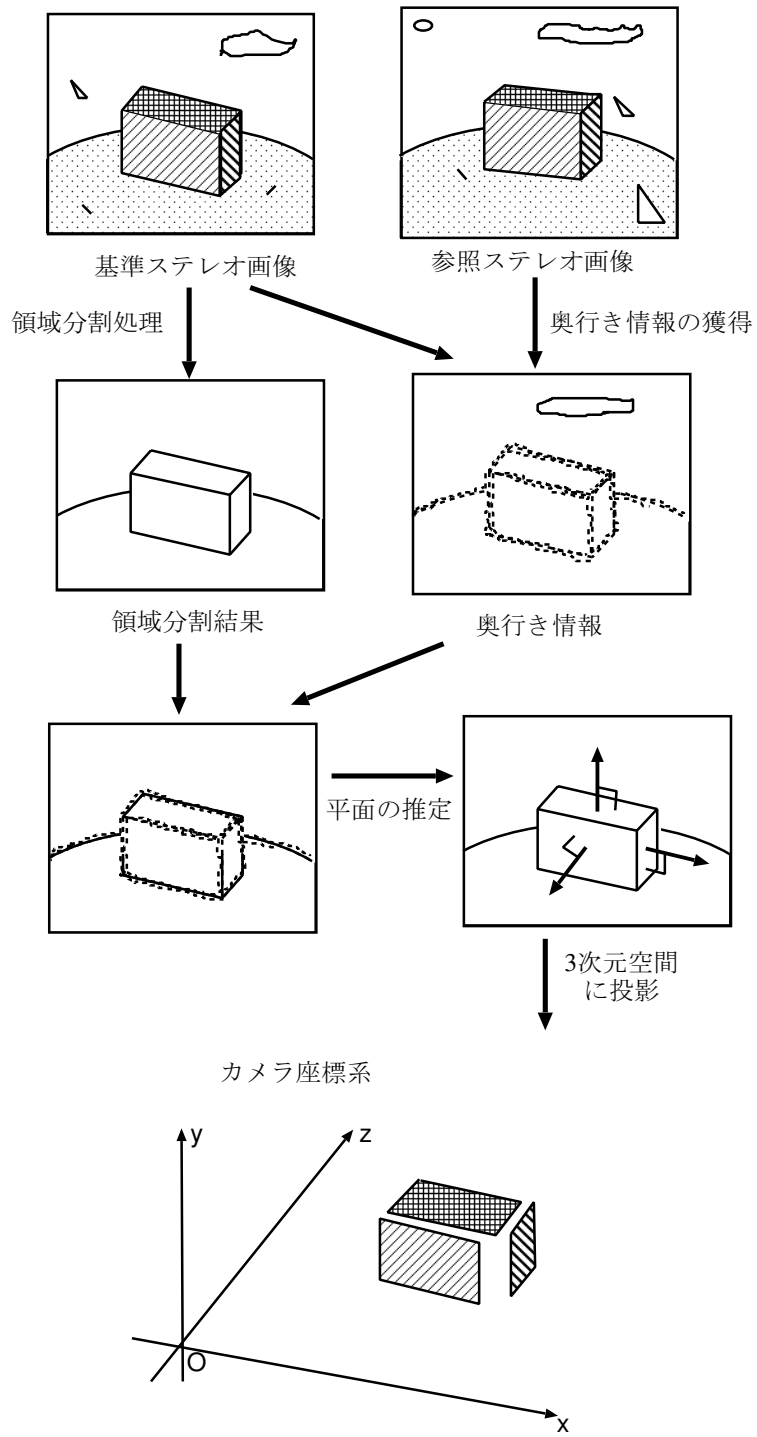


図 6 平面推定における処理の流れ図

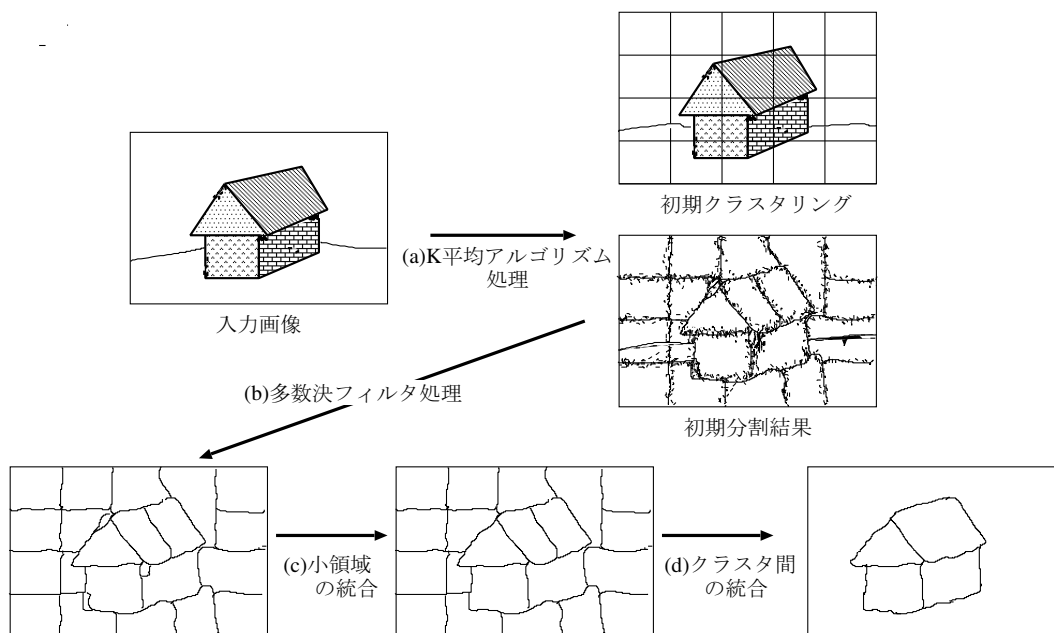


図 7 領域分割処理手順

K 平均アルゴリズムによるクラスタリング

K 平均アルゴリズムとは初期状態として適当なクラスタを与え、そのクラスタを変化させていくことで、よりよいクラスタの状態へ変化させる処理である。このアルゴリズムは、複数の特徴量を一元的に取り扱うことができるという利点がある。この手法は以下の手順により求めることができる。

1. 初期状態として、画像平面上を矩形に分割したクラスタを与える。分割するクラスタ数は予め設定する。
2. クラスタ毎の特徴量の平均値を計算する。
3. 画面中の全画素ごとにその画素の特徴量がどのクラスタの特徴量の平均値と近いかを、後述する式 (2) の距離によって比較し、そのクラスタを統合することでクラスタを再配置する。
4. 再構成前後で、クラスタ内の平均値が変化するとき、2. の処理へ戻る。クラスタ内のすべての平均値が閾値以上変化していなければ、ク

ラスタリング処理を終了する。

まず、初期状態として、すべての画素に対してクラスタ番号を割り当てる。ここでは、7のように画像全体を格子状に区切りそれぞれの格子に一つのクラスタ番号を割り当てる。

次に2.としてクラスタリングの特徴量を算出する。この特徴量は色情報だけでなく、画像の特徴的な性質ともいえる連続性も考慮する。実際には、それぞれの画素が持つRGB色空間の三次元と入力画像の水平垂直位置 (x, y) の二次元の特徴量との合計五次元の特徴空間を用いる。そして、それぞれのクラスタ番号を持つ画素の5つの特徴量の平均値を求める。

この値を導出した後、すべての画素に対して、クラスタとの特徴空間中での距離を比較する。その際、求める距離は

$$\sqrt{k_0\{(R - \bar{R})^2 + (G - \bar{G})^2 + (B - \bar{B})^2\} + k_1\{(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2\}} \quad (2)$$

となる。ここで、 R, G, B, x, y は画素の特徴量、 $\bar{R}, \bar{G}, \bar{B}, \bar{x}, \bar{y}$ はクラスタの平均値であり、 k_0, k_1 は特徴量への重み付け係数を示している。また、各特徴量は全て正規化されている。この距離をすべてのクラスタに対して求め一番近かった値を持つクラスタを、その画素の次のクラスタとする。

すべての画素に対してこの処理を施した後クラスタ間すべての変化量が閾値内で変化しなければ、クラスタリングが収束したものとして処理を終了する。

小領域の併合

K平均アルゴリズムで大まかな領域分割処理を行なった。しかしこのアルゴリズムの領域分割結果では、色情報と座標情報を一元的に取り扱ったことによって、粒状の微小な領域が大量に発生する。そのため、これを取り除くために、2段階の処理を行なう。1つ目は、多数決フィルタ処理を用いること、そして、2つ目は一定画素数以下の領域をその領域に隣接する画素数の最も多い領域へと併合する処理を行なうことである。

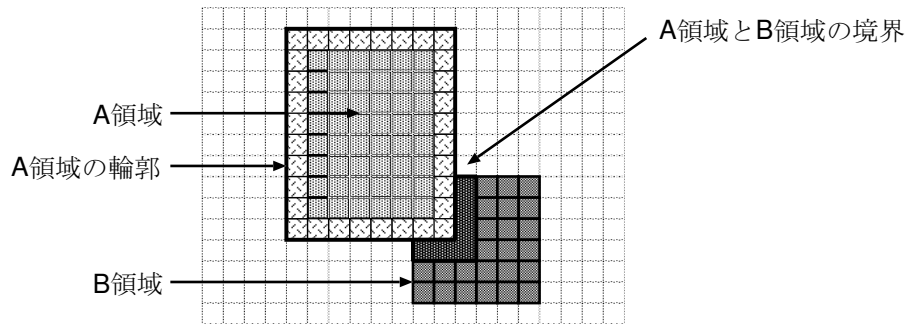


図 8 クラスタ間統合説明図

クラスタ間の統合処理

一部の大きな領域に関しては統合が行なわれなかったことがあるため、比較的大規模な領域に対して統合処理を行なう。ここで、一つの独立した領域の境界は、色情報の変化が大きい傾向にある。一方、一つの大きな領域が複数の領域に分割された場合の境界上での色変化は小さい。この性質を考慮した統合処理として、画面上で隣接するクラスタ間の境界での色情報の変化が小さい所を統合する処理を行なう。具体的なクラスタ間の距離の評価基準は、

$$\sqrt{k_0\{(\bar{R}_a - \bar{R}_b)^2 + (\bar{G}_a - \bar{G}_b)^2 + (\bar{B}_a - \bar{B}_b)^2 + (\bar{d}_a - \bar{d}_b)^2\} + k_1\{(\bar{R}_{ra} - \bar{R}_{rb})^2 + (\bar{G}_{ra} - \bar{G}_{rb})^2 + (\bar{B}_{ra} - \bar{B}_{rb})^2 + (\bar{d}_{ra} - \bar{d}_{rb})^2\}} \quad (3)$$

のように設定する。図 8 に示すように、領域 a の全体の色画素の平均値をそれぞれ $\bar{R}_a, \bar{G}_a, \bar{B}_a$ 、領域 b の全体領域の RGB の平均値をそれぞれ $\bar{R}_b, \bar{G}_b, \bar{B}_b$ 、また、領域 a の境界領域の RGB の平均値をそれぞれ $\bar{R}_{ra}, \bar{G}_{ra}, \bar{B}_{ra}$ 、領域 b の境界領域の RGB の平均値をそれぞれ $\bar{R}_{rb}, \bar{G}_{rb}, \bar{B}_{rb}$ とする。また、 d_a, d_b, d_{ra}, d_{rb} は式 (1) で表される評価関数値であり、 k_0, k_1 は各特徴量への重み付け係数である。この評価基準の各値は正規化されており、この距離が一定閾値以下なら統合処理を行なう。この処理を隣接する全てのクラスタ間同士で行ない、統合できる領域がなくなるまで続ける。

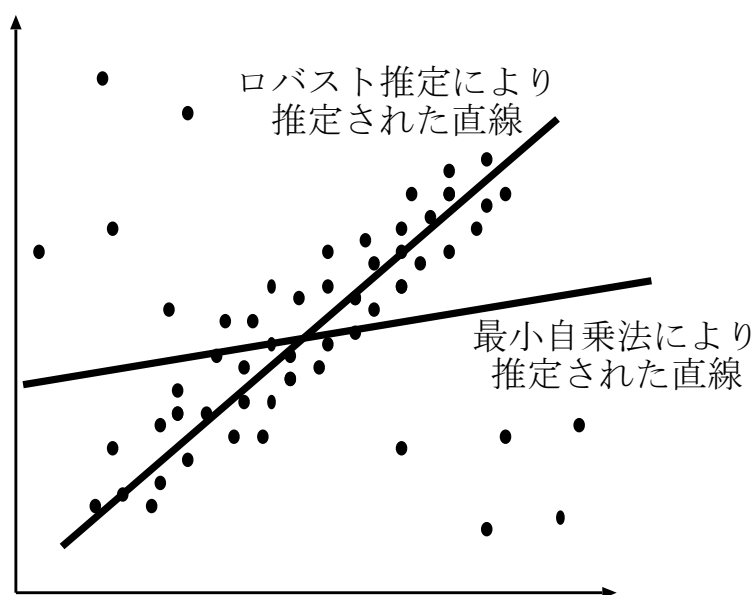


図 9 ロバスト推定と最小自乗推定

3.3.2 平面領域の推定

前節で述べた領域分割結果から得られた各領域がそれぞれ一つの三次元平面を構成すると仮定する．そして，抽出された領域に存在する奥行き情報から，各領域毎の法線ベクトルを求め，実際の三次元平面を推定する．平面の推定方法として，ここでは統計的手法を用いた平面方程式の推定を行なう．

統計的手法は，実際のデータ（ここでは奥行き情報から求められた三次元データ）と，その関係を抽象化したモデル間の確率統計的な関係を解析する手法である．この代表的な手法として最小自乗法やロバスト推定 [24, 25] が挙げられる．

図 9 は与えられたデータに対してそれぞれの推定手法を適用した結果を示している．最小自乗推定による直線はすべてのデータを考慮するため例外値による影響が現れていることがわかる．一方，ロバスト推定により推定された直線はデータ内の主要な部分のみモデルを当てはめ，残りの部分を例外値として自動的に除外するため，得られた直線のモデルをデータに当てはめた場合，例外値の影響を抑えた推定結果となる．本研究ではロバスト推定を用いた推定を行なう．

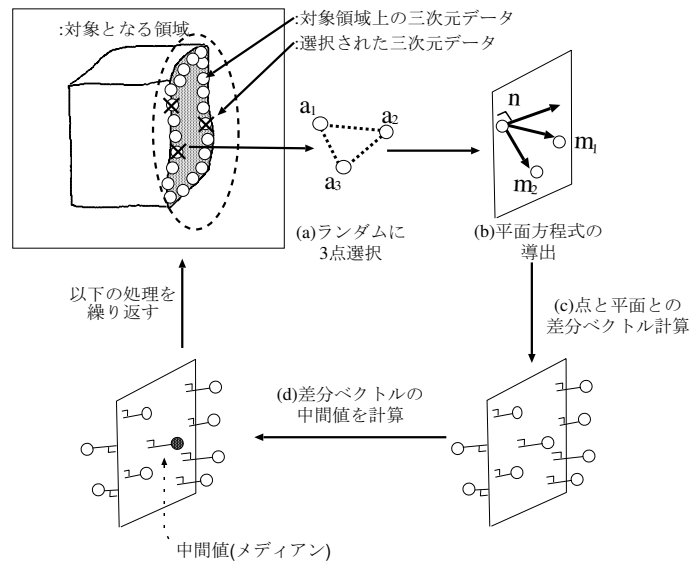


図 10 平面推定アルゴリズムの説明図

ロバスト推定では、得られたデータに外れ値が半分以上含まれている場合、正しい値の推定は出来ない。しかし、ステレオ視により得られる三次元データのうち、誤対応等の原因により外れ値となる三次元情報は半分以下となる仮定のもとでロバスト推定を適用する。ロバスト推定を用いると、例外値をある程度含むようなデータからでも比較的安定にモデルのパラメータを推定できる。ここではロバスト推定のための代表的な手法である LMedS 推定 [24] を用いる。

以下に、LMedS 推定を用いた平面推定処理を図 10に従って説明する。

1. 対象領域内に存在する三次元情報の中から 3 点をランダムに選択する (図 10(a))
2. 選択した 3 点から、1つの平面方程式を生成する。例えば、図 10(b)のように対象領域内の点 a_1, a_2, a_3 が選択され、 $m_1 = a_2 - a_1$ 、 $m_2 = a_3 - a_1$ とすると、求める平面の法線ベクトル n は $n = m_1 \times m_2$ となる。この法線ベクトル n と点 a_1 を通る平面上の点を p とすると、点 p は、 $n \cdot (p - a_1) = 0$ を満たす平面上に存在する。この平面が 3 点 a_1, a_2, a_3 を通る平面方程式

となる.

3. 算出した平面方程式を用いて, 領域内に存在するすべての三次元情報と算出された平面との距離を計算する (図 10(c))
4. すべての距離の中間値 (メディアン) を計算する (図 10(d))
5. 1. ~ 4. を k 回繰り返す. この処理中で, メディアン値が最小となった平面方程式を, その平面の方程式とする.

ここで, サンプルの値が少ない場合, すなわち平面となる領域内で求めた奥行き推定値が極端に少なかった場合には平面推定を行なわない. 理由は奥行き情報が極端に少ないと, ロバスト推定を行なっても信頼性の推定を行うことはできないためである. 平面推定が行なわれなかった領域については, 三次元モデルを再構成する場合にその領域は描画はしないように処理する.

3.4 多視点データの統合

今までの処理で, カメラ座標系における平面を推定する手順までを述べた. 本章では, そのカメラ座標系で推定された平面群を三次元モデルとして世界座標系へ変換し, 統合したモデルを生成する処理について述べる.

各カメラ座標系から世界座標系への変換は, 各撮影地点での GPS と三軸角度センサにより得られる計測データをもとに行う. 図 11のように, 基準となる撮影位置におけるカメラ座標系の原点を世界座標系の原点とし, 世界座標系の X, Z 軸は絶対水平面に一致させる. また X 軸正の方向を真東, Z 軸正の方向を真南とし, Y 軸は鉛直上向きの方向を正とする. この時, 各視点から得られた奥行き情報は各視点でのカメラ座標系で表現されており, 各カメラ座標系から世界座標系への変換行列が必要になる. 以下, 三次元座標を同次座標系で表現すると, ある点の世界座標系の座標値 \mathbf{x} は, カメラ座標系での座標値 \mathbf{x}' と変換行列 \mathbf{M} を用いて,

$$\mathbf{x} = \mathbf{M}\mathbf{x}' \quad (4)$$

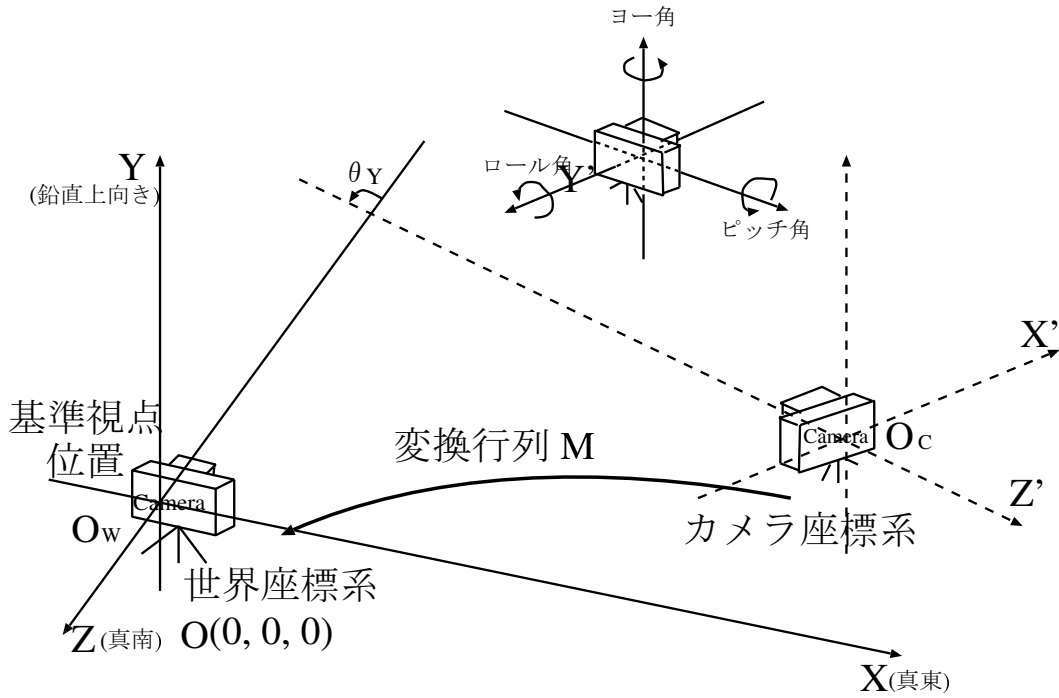


図 11 カメラ座標系と世界座標系との位置関係

と表現できる．カメラ座標系の世界座標系に対する相対的な位置を $\mathbf{t} = (t_x, t_y, t_z)^T$ とし，絶対水平面を基準としたカメラ座標系の傾斜角（ピッチ角，ロール角）を θ_P, θ_R ，及び真北の方向を基準とした方位角（ヨー角）を θ_Y とする．この時，カメラ座標系から世界座標系への回転行列 \mathbf{R} は，各軸の回転行列の積として以下の式で表される．

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_P(X' : -\theta_P) \mathbf{R}_Y(Y' : -\theta_Y) \mathbf{R}_R(Z' : -\theta_R) \quad (5)$$

$$\mathbf{R}_P(X' : -\theta_P) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(-\theta_P) & -\sin(-\theta_P) & 0 \\ 0 & \sin(-\theta_P) & \cos(-\theta_P) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_Y(Y' : -\theta_Y) = \begin{bmatrix} \cos(-\theta_Y) & 0 & \sin(-\theta_Y) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(-\theta_Y) & 0 & \cos(-\theta_Y) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R}_R(Z' : -\theta_R) = \begin{bmatrix} \cos(-\theta_R) & -\sin(-\theta_R) & 0 & 0 \\ \sin(-\theta_R) & \cos(-\theta_R) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ここで、 $\mathbf{R}_P(X' : -\theta_P)$, $\mathbf{R}_Y(Y' : -\theta_Y)$, $\mathbf{R}_R(Z' : -\theta_R)$ はそれぞれカメラ座標系の各軸を世界座標系の各軸への回転行列を示している。また、カメラ座標系から世界座標系への平行移動行列を \mathbf{T} とすると、 \mathbf{T} は以下の式で表される。

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & t_x \\ 0 & 1 & 0 & t_y \\ 0 & 0 & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

変換行列 \mathbf{M} は、式 (6) の平行移動行列 \mathbf{T} と式 (5) により導出された回転行列 \mathbf{R} を用いて、

$$\mathbf{M} = \mathbf{RT} \quad (7)$$

で表される。この変換行列を用いることにより、各視点から得られた複数のカメラ座標系を、世界座標系に統一して表現することができる。

3.5 ステレオ画像の隣接性を考慮したモデルの形成

以上の処理で、世界座標系における三次元モデルが生成される。しかし、GPS や三軸角度センサによる測定には誤差があるため、統合された三次元モデルには整合性の面で問題がある。また、あるステレオペアで推定された面が別のステレオペアによって重複して推定されることもある。以下では、推定された平面の三次元位置を補正し重複した平面を統合する処理を示す。

3.5.1 複数存在する同じ平面の統合処理

対象物体を構成している同一平面を，異なるステレオペアで撮像することにより重複して推定することがある．この場合，推定された平面を世界座標系に統合することにより重複した面として現れる．また，重複して推定された同一平面はカメラの位置姿勢の測定誤差によりずれが生じるため別の平面としてモデルを構成することになる．本手法では重複して推定された平面の三次元位置を補正し，一つの平面に統合する処理を施す．

その処理手順として，図 12 のような処理を行なう．まず図 12(a) のように重複した面同士を探索する処理を行なう．詳細は以下の通りである．

1. 重心の導出

各ステレオペアで推定された平面に対して，それぞれの平面の重心をカメラ座標系で求める．

2. 世界座標系への投影

求めたすべての重心を，カメラ座標系から世界座標系へ変換する

3. 近傍の重心の探索

各ステレオペアで求められた重心同士の距離を求め，設定した閾値以内であった場合にそれぞれの重心をもった平面を統合することにする．

次に，12(b) のように平面を統合する処理を施す．

1. 重心の位置合わせ

まず，統合するそれぞれの重心の値から面の統合位置を決定する．その位置は重心を結んだ線分の中間値でありその値を新たな重心の位置として，それぞれの平面を平行移動させる．

2. 法線の位置合わせ

次に面推定の際に求めた法線の値を用いて，それぞれの面の傾きを合わせる．具体的には，二つの法線を足し合わせたベクトルを求め，そのベクトルにそれぞれの法線を合わせるようにする．

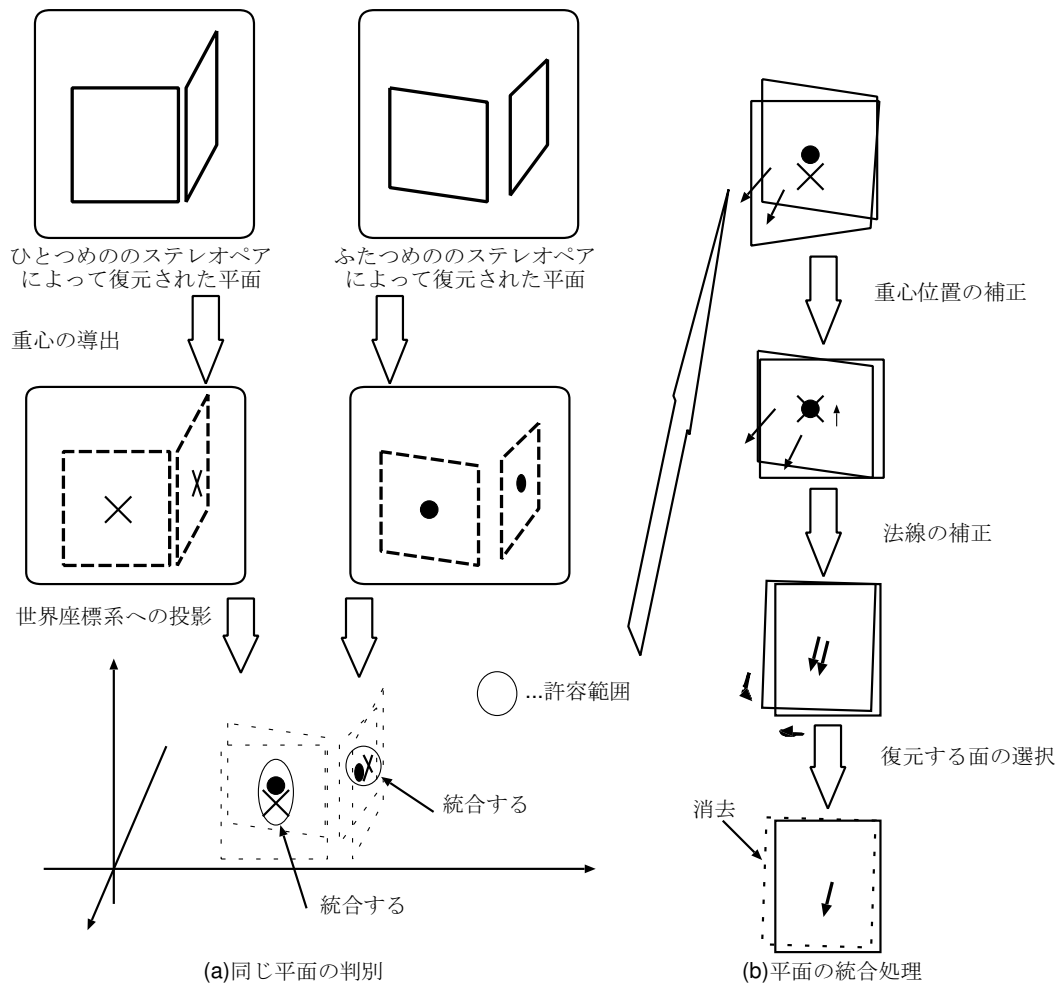


図 12 異なったステレオペアより復元された同じ面の統合処理

3. 復元する平面の選択

ここまでの処理で、同じであると判断された面は一つとなるがテクスチャの大きさや位置関係の違いによる重心位置の違いから、必ずしも同じテクスチャの平面が構成されるわけではないため、どちらかの面を表示しないようにする。その判断基準は、それぞれの平面の小さいものを表示しないようにする。

この処理を、推定されたすべての平面に対して施すことにより、モデルを構成する同じ平面を合わせることが出来る。

3.5.2 隣接性を考慮した平面の接合

モデルを構成するそれぞれの平面は推定された平面の方程式によって構成されている。これらの平面を世界座標系に統合した場合、隣合った平面は計測機器の誤差などにより接合されない位置に投影される。この問題を解決するため、推定された面同士の隣接状態を判断して面同士をつなげる処理を施すことによりモデルを形成する。

処理手順は図 13 のように示すことが出来る。まず、図 13(a) のように領域分割されている画像に対して、輪郭の周囲近傍における領域番号を取得する。その後、図 13(b) の処理、つまり前述の同じ平面の統合処理を施すことにより、平面を消去する。図中では、 A と A' そして、 B と B' が同一平面とみなされ、 A' 及び B が統合される。ここで、統合された平面は、同一とみなされた二つの平面の重心間の中に新たな平面を配置する。この時、同一の平面が隣接している領域の情報を保存しておく。それから、図 13(c) のように推定された面に対して輪郭上に存在している別の領域を調べる。ここで、さきほどの同一平面が対応している情報を使い別のステレオペアによって推定された領域も調べる。この例では A と B' がその対応する情報によって隣合う平面であることがわかる。次に図 13(d) として、隣合う平面の二つの方程式から交線を求める。ここで、建物を構成している平面は一般に地面に垂直に並ぶという拘束を利用して、その交線の単位ベクトルにおける y 成分が大きいものであった場合、すなわち構成している二つの面が地面に対して垂直に現れている時、それらの平面間を接合する。

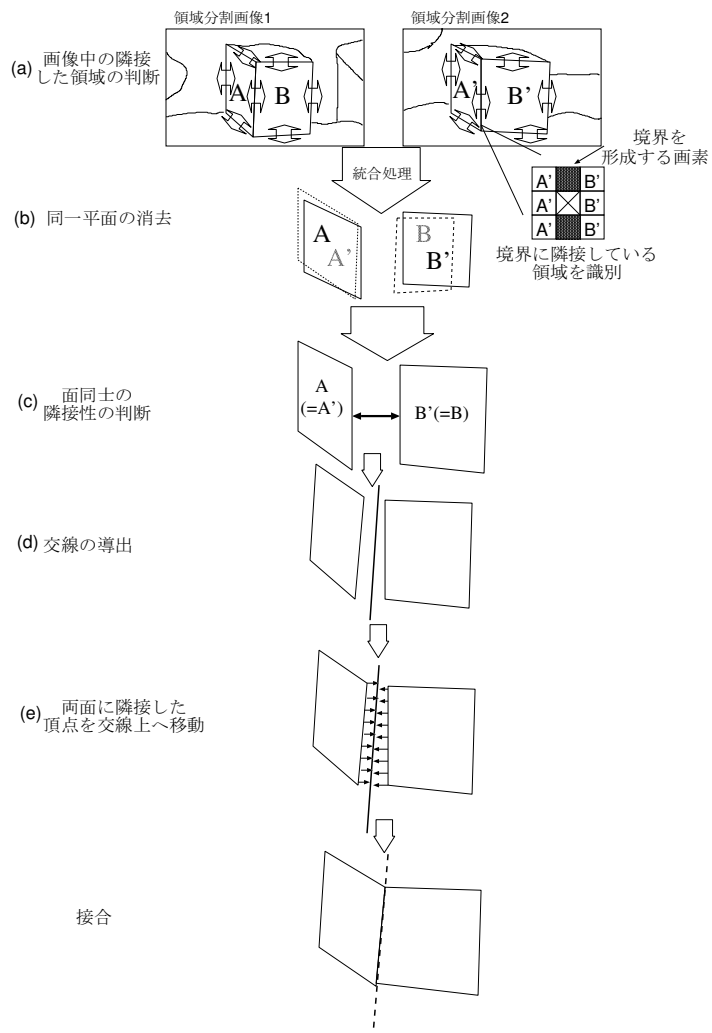


図 13 隣合う面同士の接合処理

接合処理は，図 13(e) のように，二平面に対して求めた交線上に平面を構成している頂点を移動させ，その移動量が閾値よりも小さなものであった場合に，頂点をその交線上に再配置する．これを平面を構成するすべての頂点に対して行うことで二つの面は接合される．そして，この処理を全面に対して施すことですべての面が接合される．

4. 実験

本章では、各センサにより撮影位置間の位置・姿勢の関係が既知な多視点からの入力画像を取得し、本提案手法を用いて屋外環境構造を再構成する処理過程を示すとともに、撮影実験によって、最終的な三次元モデルを構築する過程を示し、最後に実験の考察を行なう。

4.1 実験環境

本手法の有効性を示すために、屋外における再構築のための実験を行なった。実験を行なうに際して、各撮影位置間の幾何学的関係を求めるため GPS と三軸角度センサを用いてカメラ位置の計測を行なう。まず、カメラ間の位置センサとして GPS(NovAtel 社: RT-20(図 15)) を使用した。この GPS は垂直に $\pm 10\text{mm}$ 、高度は $\pm 20\text{mm}$ の精度の位置測定が可能である。姿勢センサには三軸角度センサ (InterSense 社: IS-300 Pro(図 16)) を使用した。このセンサの精度はロール角、ピッチ角、ヨー角 (方位角) 全て ± 1.0 度ある。入力画像を、取得するためのデジタルカメラには富士フイルムの DS-300 を用いた。

これらの各センサを用いて、実際に屋外環境構造の撮影を行なった。各撮影カメラ間の関係と、各センサにより得られた実測データをそれぞれ図 14 と表 2 に示す。ここで、GPS により得られるデータは緯度、経度、高度として表されるが、その値を変換し図 14 において、GPS の基準局を原点とした世界座標系を構成し三次元位置データを出力する (単位: mm)。この世界座標系の各軸を決定する基準として、 Z 軸は原点 O を基準として子午線に一致する軸とし、原点 O から真南に向かう方向を正として構成する。 X 軸は Z 軸に直交する軸とし、真東に向かう方向を正とする。また、 Y 軸を X, Z 軸に垂直な軸とし、鉛直上向き方向を正としている。次に、三軸角度センサにより得られる三次元姿勢データは絶対水平面を基準としたカメラの傾斜角、及び真北方向を基準とした方位角データを出力する (単位: degree)。カメラの傾斜角 (ロール角、ピッチ角) は、それぞれ時計回り方向を正とした回転角を出力し、カメラの方位角 (ヨー角) は真北方向からの回転角を出力する。

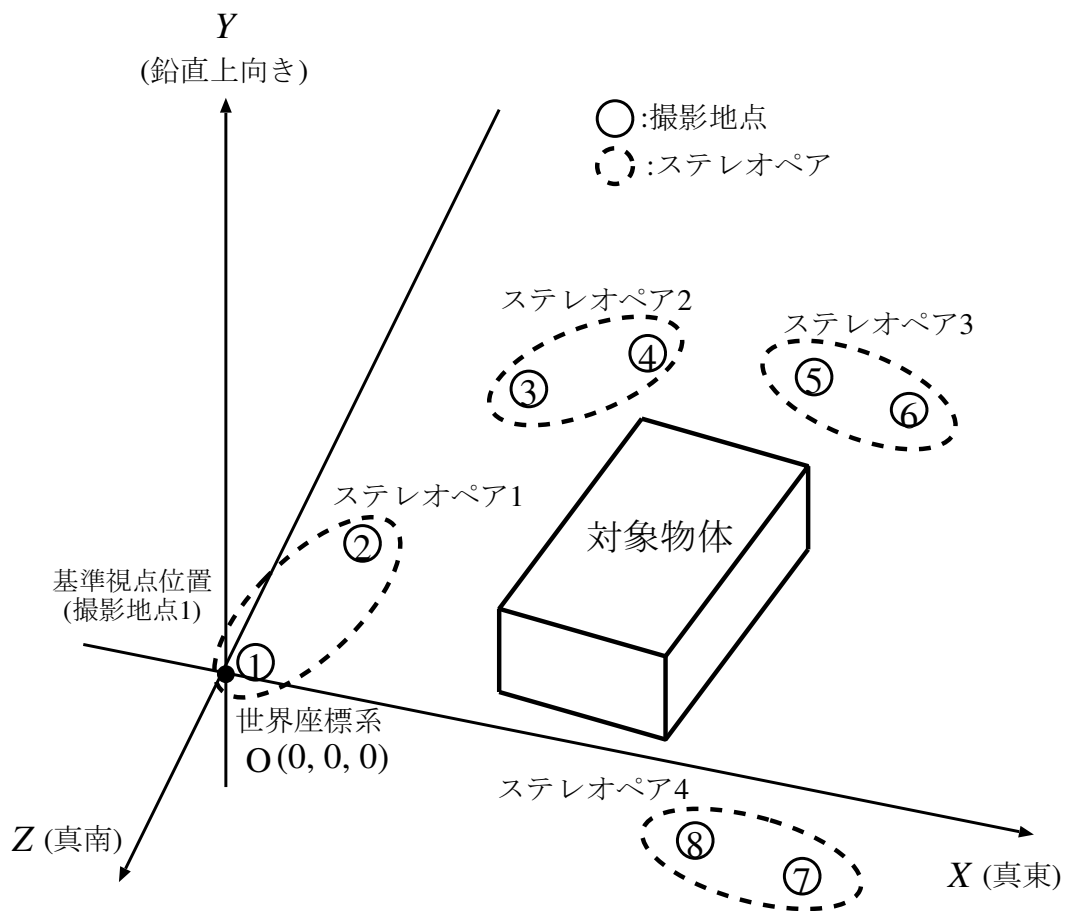


図 14 対象物体に対するカメラ配置

表 1 実験において利用したパラメータ

入力画像サイズ	760 × 502 <i>pixel</i>
正規化相互相関のテンプレートサイズ	9 × 9 <i>pixel</i>
正規化相互相関値の閾値	0.7
K 平均アルゴリズムの初期クラスタ	10 × 10 <i>class</i>
K 平均アルゴリズムの収束閾値	0.01
多数決フィルタのウィンドウサイズ	5 × 5
式 (2) の重み付け係数	$k_0 = 1/8, k_1 = 1/4$
領域分割の小領域統合要素数	300 <i>pixel</i>
式 (3) の重み付け係数	$k_0 = 1/8, k_1 = 1/8$
クラスタ間の統合処理閾値	0.6
平面推定時の最低奥行き情報数	20
ロバスト推定の試行回数	100

表 2 各センサの実測データ

撮影地点	$X(m)$	$Y(m)$	$Z(m)$	ピッチ角 (degree)	ヨー角 (degree)	ロール角 (degree)
1	0.0	0.0	0.0	-83.4	-0.3	10.1
2	0.375	-0.035	-4,284	-106.2	0.0	10.1
3	2.222	-0.058	-9.145	-129.1	-1.0	11.5
4	5.035	0.108	-11.919	-148.7	-0.1	10.3
5	11.482	0.085	-13.743	-177.2	0.2	10.6
6	16.218	0.132	-12.959	162.3	-0.4	12.0
7	20.007	-0.032	8.768	45.6	1.2	11.8
8	16.791	-0.065	8.299	32.2	1.5	19.0



図 15 GPS の外観



図 16 三軸角度センサの外観

ここで、実験に用いた各パラメータを表 1 に示す。領域分割における式 (2) の重み付け係数 k_0, k_1 は、それぞれ $1/8, 1/4$ に設定している。距離に関して、このように設定することによって、濃淡値や色彩情報が急激に変化する場所においては、位置情報の変化に比べ色情報の変化の方が大きくなる。そのため、画像のエッジは境界領域として保存される。

K 平均アルゴリズムに関するパラメータの決定に関しては、経験的に求めた。初期クラスタに関しては、数が多ければ分割数が必然的に多くなるため、後の統合処理に時間がかかる。また、収束閾値に関しては、一定の閾値以下になるとクラスタリング結果がこれらの収束画像に関してはほぼ収束して、安定した分割画像が得られたので、この値と判断した。

次に、多数決フィルタにより、微小領域の統合が行なわれた後、いまだに残っている領域に関しても、統合する処理を行っている。ここでは、統合をする際に判断する領域内の画素数を 400 画素とした。閾値となる 400 画素の領域は 1 フレームの総画素数 $760 \times 502 = 381,520$ に対して約 0.1% の面積である。この程度の大きさの領域は実際の画面上で統合しても問題無いと判断した。

また、式 (3) の重み付け係数 k_0, k_1 は各々 $1/8$ に設定している。これにより、クラス間全体の色情報と境界上の色情報の重みが同等の評価基準となり、距離の値としては 0.0 – 1.0 の値を取る。この値が一定閾値以下なら統合処理を行なう。この処理を隣接する全てのクラスタ間同士で行ない、統合できる領域がなくなったとき終了する。統合時の閾値は 0.7 とする。平面推定時のロバスト推定の試行回数は 200 回とした。これらの値も経験的に求めたものである。

4.2 実験結果

前述の実験により得られた結果を以下に示す。

[視差推定]

まず、例としてステレオペア 2 に対してモデル構築を行なうまでの過程を示す。まず、入力となるステレオペア画像を図 17(a) に示す。特徴領域についてのみ、視差を導出した視差マップを図 17(b) に示す。結果の濃淡画像において、グレースケールの値が大きな点ほど近くにあることを示している。

左画像 (基準画像)



右画像 (参照画像)



(a) 入力画像

視差画像



領域分割画像



(b) 視差画像及び領域分割画像



(c) 3次元モデル

図 17 ステレオペア 2 に対する復元処理結果

[領域分割]

図 17(a) の右画像 (基準画像) に対して領域分割処理を施した結果が図 19(b) となる。この結果から背景を構成している領域と対象物体を構成している領域が別の領域として分割されていることが確認できる。

[平面の推定]

図 19(c) に示すように、図 19(b) で求めた奥行き情報と領域分割画像により、推定されていることがわかる。平面が求まっていない領域は、平面推定における奥行き情報の数が閾値以下であった領域である。

[三次元モデル統合処理]

ステレオペアとして撮影したすべての入力画像ペアと、本手法により獲得された三次元モデルをそれぞれ図 18, 19, 20, 21 に示す。また、これらの三次元モデルを統合した対象物体の生成結果を図 22 に示す。得られた統合結果は明らかに位置がずれてしまう。また、重複した平面に対しては、違う位置に平面が配置される。そのため、前述の手法により隣合う平面をつなげる処理を施す。その結果を図 23 に示す。この処理によって、モデルは完成する。

4.3 考察

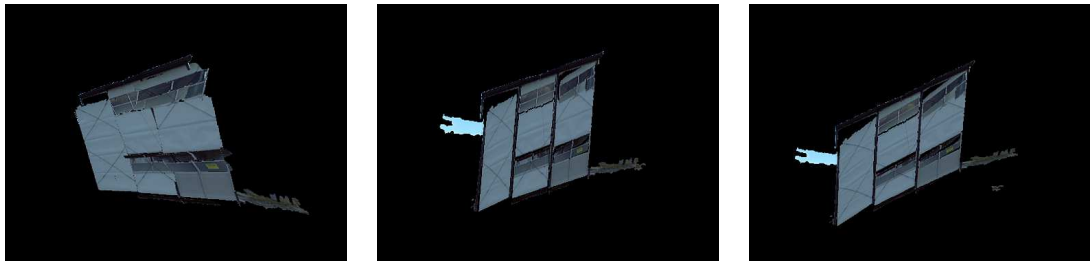
以上の実験により、本研究で求めた結果の考察を行なう。本研究で、提案した手法によって得られた結果は、三次元モデルを構成する時点では GPS の測地誤差が原因とされる、平面位置の全体的なずれが発生していた。そして、次にこの手法を適用したことによって、実際には存在しないはずである重複面が消えていることがわかる。また平面の接合を行なうことによって実際につながっていなかった平面がつながっていることがわかる。しかし、重複していないステレオペアに関してはそれは適用されず、また、その平面のずれに対しては補正がかかっていない状態になっていることがわかる。この対策としては、全体を重複するようなステレオペアを構成し全体で補正をかけることなどが考えられる。

基準画像

参照画像



(a) 入力画像



(b) 出力される三次元モデル

図 18 ステレオペア 1 により得られた三次元モデル

基準画像

参照画像



(a) 入力画像



(b) 出力される三次元モデル

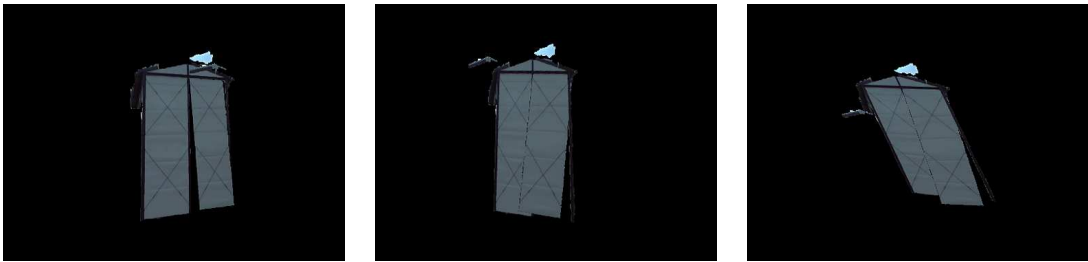
図 19 ステレオペア 2 により得られた三次元モデル

基準画像

参照画像



(a) 入力画像



(b) 出力される三次元モデル

図 20 ステレオペア 3 により得られた三次元モデル

基準画像

参照画像

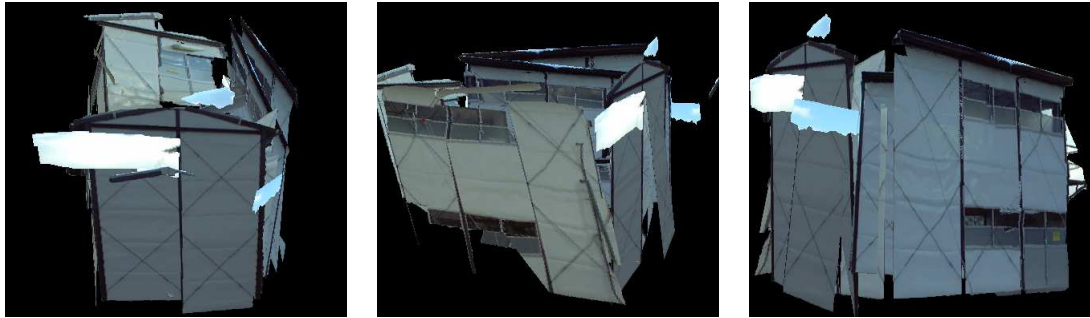


(a) 入力画像



(b) 出力される三次元モデル

図 21 ステレオペア 4 により得られた三次元モデル



(a) 三次元モデルの統合

図 22 統合後の三次元モデル



(b) 補正後の三次元モデル

図 23 補正後の三次元モデル

5. おわりに

本研究において、現実空間における三次元構造を計算機内で再構成するための一手法を提案した。提案する手法では屋外の環境に対してステレオ撮像系を構成し、GPSや三軸角度センサといった位置や方向を測るための機器を用いて、カメラのパラメータを取得し、それらの情報から画像の奥行きを取得する。同様にして、違う点からの奥行きを取得することで全体の位置関係から三次元モデルを統合し再構成を行なう。そして、そのままでは計測情報による誤差が構築されたモデルに対して影響するため、その位置を取得した画像関係などから補正することでより完璧なモデルを復元することを目指した。この手法の主な特徴は、位置姿勢を求めるための機材を用いることによってカメラの撮影位置の把握が困難な場所に対しても、三次元構造を再構成することが可能となるという点である。

本手法における問題点はまず、その領域分割が不完全であるために推定量が不足し推定が行えないために結果として平面が抜けてしまうことである。そのため、隣接状態を調べてもその部分が復元できなかった場合には補正情報として扱うことができなくなる。また、現実空間では、一つの面であっても領域分割では複数の領域に分割してしまうため、重心位置が複数存在する場合もある。その結果、本手法では平面補正が適用できない場合もある。対策としては、同じステレオで推定された面の法線方向や色情報の類似性から領域を統合しその重心を求めて今回の手法をする方法考えられる。また、一つのステレオによって構成された面群の方程式を比較して、色情報や隣接関係などから一つの領域として繋ぎ合わせるということが考えられる。

本研究の全過程を通して、直接懇切なる御指導、御鞭撻を賜ったソフトウェア基礎講座 横矢 直和教授に心より感謝の意を表します。

本研究の遂行にあたり、終始有益な御助言と御鞭撻を頂いた像情報処理学講座 千原 國宏教授、並びに時間を問わず懇切丁寧に御指導頂いたソフトウェア基礎講座 竹村 治雄助教授に厚く御礼申し上げます。

さらに、本研究を通して、有益な御助言を頂いたソフトウェア基礎講座 岩佐 英彦助手、並びにソフトウェア基礎講座 山澤 一誠助手に厚く感謝します。

本研究を進めるにあたり、終始熱心に相談に応じて頂き、多くの時間と労力を割いて頂いたソフトウェア基礎講座の神原 誠之様、様々な情報を提供を下さった松宮 雅俊様、数多くの情報を提供して下さった佐藤 哲様また、思慮不足の私のためにお忙しい中時間を割いて多くの知恵と資料を提供して下さった町田 貴史様、不肖なる私に対し数々の助言、忠言をくださった藤井博文様、本研究を検証するための数々のプログラムを提供して下さった島村 潤様、多忙の中幾度となく文章の厳密な校正を下さった戎野 聡一様、他 M2 の皆様方に深く感謝します。

また、寒い中屋外での実験を長い間手伝って頂いた佐藤 智和氏と岡本 隆資氏、そして日々の研究室活動を様々な面で支えてくれた後輩諸氏に心より感謝致します。

最後に、研究室での生活を見守って頂いたソフトウェア基礎講座事務補佐員 福永 博美女史に感謝します。

参考文献

- [1] G. G. Robertson, S. K. Card and J. D. Mackinlay: “Information Visualization Using 3D Interactive Animation,” *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 4, pp. 57–71, April 1993.
- [2] R. Teylingen, W. Ribarsky and C. Mast: “Virtual Data Visualizer,” *IEEE Trans. on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 3, No. 1, pp. 65–74, March 1997.
- [3] S. Donikian: “VUEMS: A Virtual Urban Environment Modeling System,” *Proc. Computer Graphics International*, pp. 84–91, 1997.
- [4] O. Jokinen: “Building 3-D City Model from Multiple Unregistered Profile Maps,” *Proc. International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling*, pp. 242–249, May 1997.
- [5] 全, 納富, 小澤: “動画像解析による仮想都市空間の構築”, *信学技報 PRMU96-126*, pp. 59–65, 1996.
- [6] O. Henricsson: “The Role of Color Attributes and Similarity Grouping in 3-D Building Reconstruction,” *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 72, No. 2, pp. 163–184, November 1998.
- [7] 横光, 大隈, 竹村, 横矢: “多視点ステレオ実画像を用いた仮想空間の構築に関する一 検討”, *日本 VR 学会第 3 回大会大会論文集*, pp. 223–224, 1998.
- [8] A. Benschraier, P. Mische and R. Debrue: “Fast and automatic stereo vision matching algorithm based on dynamic programming method,” *IAPR Pattern Recognition Letters*, Vol. 17, No. 5, pp. 457–466, May 1986.
- [9] C. Tomasi and T. Kanade: “The Factorization Method for the Recovery of Shape and Motion from Image Streams,” *Proc. Image Understanding Workshop*, pp. 459–472, 1992.

- [10] 佐賀, 安田, 横井: “実画像を利用した仮想空間の構築に関する研究”, *Human Interface News and Report*, Vol. 13, pp. 231–236, 1998.
- [11] 岸野: “仮想環境を実現するコンピュータプラットフォーム”, *情報処理*, Vol. 38, No. 4, pp. 287–292, 4 1997.
- [12] P. E. Debevec, C. J. Taylor and J. Malik: “Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach,” *Proc. SIGGRAPH '96*, pp. 11–20, 1996.
- [13] 遠藤, 片山, 田村, 廣瀬, 渡辺, 谷川: “移動車両搭載カメラを用いた電脳映像都市空間の構築 (1)”, *日本 VR 学会第 2 回大会大会論文集*, pp. 63–66, 1997.
- [14] 廣瀬, 渡辺, 谷川, 遠藤, 片山, 田村: “移動車両搭載カメラを用いた電脳映像都市空間の構築 (2)”, *日本 VR 学会第 2 回大会大会論文集*, pp. 67–70, 1997.
- [15] 高木, 下田: “画像解析ハンドブック”, 東京大学出版会, pp. 485–491, 1993.
- [16] EOS-Systems: “Photomodeler pro,” *IEEE Computer Graphics and Applications*, May 1996.
- [17] 森下: “仮想環境サービスの展望”, *情報処理*, Vol. 38, No. 4, pp. 274–279, 4 1997.
- [18] T. Kanade and M. Okutomi: “A Stereo Matching Algorithm with an Adaptive Window : Theory and Experiment,” *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 16, No. 9, pp. 920–932, September 1994.
- [19] 川崎, 谷田部, 池内, 坂内: “実世界画像の自動構造化およびこれを用いた 3 次元都市の自動生成”, *信学技報 MVE99-35*, pp. 15–22, 1999.
- [20] 杉本, 徐: “3 枚の中心射影画像によるカメラ内部変数・三次元形状・三次元運動の復元”, *情処研報 99-CVIM-114-2*, pp. 9–15, 1999.
- [21] 鮫島, 小杉: “二次元景観画像からの三次元建造物の復元”, *信学ソ大 D-12-27*, p. 191, 1999.

- [22] 大津: “テレビジョン画像情報工学ハンドブック”, オーム社, pp. 426–428, 1990.
- [23] S. Z. Selim and M. A. Ismail: “K-Means-Type Algorithms: A Generalized Convergence Theorem and Characterization of Local Optimality,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-6, No. 1, pp. 81–87, January 1984.
- [24] P. J. Rousseeuw and A. M. Leroy: Robust Regression and Outlier Detection, John Wiley and Sons, NewYork, 1987.
- [25] F. R. Hampel, E. M. Ronchetti, P. J. Rousseeuw and W. A. Stahel: Robust Statistics: An Approach Based on Influence Functions, John Wiley and Sons, NewYork, 1986.