

I-22 デジタルビデオカメラを用いた

3次元モデル自動生成システムの研究開発

A Research and Development about the Automatic Creation System
of the 3-dimensional Model by using the Digital Video Camera北川悦司¹・田中成典²・古田均²・杉町敏之³

Kitagawa Etsuji, Tanaka Shigenori, Furuta Hitoshi, and Sugimachi Toshiyuki

抄録：現在、3Dモデルは、情報の提供手段として非常に効果的であるため、様々な分野で利活用されている。そのため、3Dモデルの生成において有効な写真測量技術に関心が高まり、多くの手法が提案されてきた。しかし、専門的知識や高価な機材を必要としない3Dモデルの自動生成における実用的な手法は、未だ実現されていない。その要因には、2枚の画像間の同一点である対応点の自動取得に関する技術が確立されていないことが挙げられる。

そこで、本研究では、デジタル動画画像が持つ連続情報とオプティカルフローを利用して対応点の自動取得を実現し、デジタルビデオカメラでオブジェクトを撮影するだけで、誰もが容易に3Dモデルを生成できる技術の確立を目指す。

Abstract: A 3-dimensional model has an effect as a means for presentation of information. In recent years, it is used in various fields. Therefore, the effective techniques for generating of a 3-dimensional model have been proposed by using the photogrammetry. However, the practical technique in automatic creation of the 3-dimensional model that needs neither expertise nor expensive equipments is not realized. The reason is that the technique about automatic acquisition of the corresponding points, which are the same points between two sheets of the pictures, is not established. Then, in this research, we establish the automatic acquisition of corresponding points by using the continuation of information of the digital animation. And we aim at an establishment of the system that enables easily everyone to create 3-dimensional model by only photographing an object using a digital video camera.

キーワード： 3Dモデル, 写真測量, 対応点, デジタルビデオカメラ, デジタル動画画像, オプティカルフロー

Keywords： 3D Model, Photogrammetry, Corresponding Point, Digital Video Camera, Digital Animation, Optical Flow

1. はじめに

現在、3Dモデルは、打ち合わせなどで理解が困難な完成物のイメージの相互理解を深めるために広く利用されている。そのため、3Dモデルは、施工前の打ち合わせや施工後の維持管理などで、幅広く利用されている。

しかし、情報処理技術が進歩した現在でも3Dモデルを生成するためには、ユーザの介入や専門的機材が必要である。そのため、安価で精度の高い3Dモデルの自動生成技術の確立が切望されている。

そこで、著者らは、既研究¹⁾²⁾にて専門的な知識^{3)~6)}やレーザなどの高価な設備を必要とせず、2枚のデジタル画像から誰もが簡単に3Dモデルを生成してWeb配信可能な技術を実現した。しかし、デジタル画像間の対応点^{3)~6)}を利用者のマウス選択により取得したた

め、対応点の自動取得技術の確立という課題が残った。対応点とは、左右の画像間の同一点である。

対応点の自動取得による3Dモデル生成に関する手法については、これまで様々な研究^{7)~9)}が積み重ねられてきた。しかし、デジタルカメラによる撮影方位¹⁰⁾が限定されたり、出力が汎用性の低いボクセルデータ¹⁰⁾であったり、デジタルカメラの位置を固定¹¹⁾したりするなど、未だ汎用的な手法は確立されていない。

そこで、本研究では、一般的な追跡手法であるオプティカルフロー¹²⁾で動画の特徴点を追跡することにより対応点を自動取得し、オプティカルフローによる追跡の誤対応の問題¹²⁾¹³⁾を拘束条件により解決する。また、既研究²⁾において確立された手法を応用することで、3Dモデルの取り扱いが容易なポリゴンデータを自動生成し、複数の3Dモデルの自動連結を行う。そして、最後に、撮影方位を限定せず、デジタルビデオ

1：正会員 修士 関西大学大学院 総合情報学研究科

(〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺2-1-1, Tel: 072-690-2404, E-mail: kitagawa@kansai-labo.co.jp)

2：正会員 工博 関西大学 教授 総合情報学部

3：正会員 学士 関西大学大学院 総合情報学研究科

カメラによりオブジェクトをフリーハンド撮影するだけで、3Dモデルの生成が可能なシステムの実現を目指す。

2. システムの概要

(1) 入力データ

本システムの入力データには、デジタル動画像、焦点距離と基準点がある。次に、これらの入力データについて解説する。

a) デジタル動画像

本システムでは、市販のデジタルビデオカメラにより撮影されたデジタル動画像を入力データとする。デジタルビデオカメラを用いたオブジェクトの撮影方法は、撮影方位の限定のないフリーハンド撮影とする。撮影時間や撮影距離は、3Dモデル化を行うオブジェクトにより適切に決定される。ここで、3Dモデル化するオブジェクトの背景は無地とし、1つの被写体のみをターゲットとする。

b) 焦点距離

3Dモデル生成時に必要なデジタルビデオカメラの焦点距離は、使用されるレンズにより異なる可能性がある。そのため、本システムでは、撮影に使用したデジタルビデオカメラの焦点距離を入力データとする。

c) 基準点

基準点は、写真測量により算出した3Dモデルにおける座標系の統一のためのモデル座標系として利用される。また、本研究では、自動的に取得された基準点は、複数の生成された3Dモデルの連結を行うために利用される。

本システムでは、1回目の3Dモデル生成時に、ユーザがマウス選択により2枚の各画像に対して4点ずつ計8点の基準点の指定を行う。

(2) 出力データ

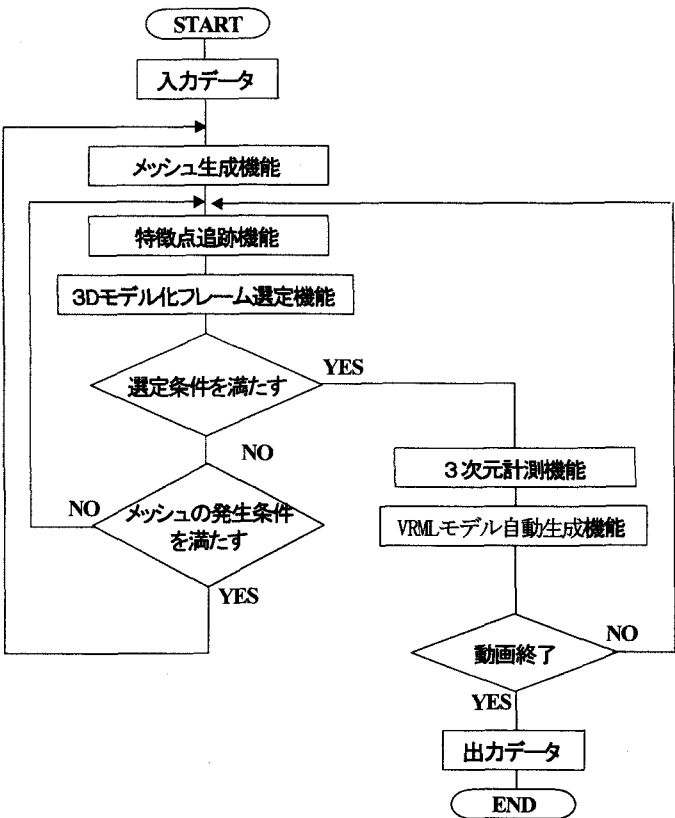
本システムでは、デジタル動画像からポリゴンデータを算出し、テクスチャを貼り付けた3Dモデルを生成して出力する。また、出力される3Dモデルは、ISO標準であるVRML形式により出力する。

(3) システムの流れ

本システムは、デジタルビデオ画像を入力として、図一1に示されるように、1)特徴点の追跡用メッシュを生成するメッシュ生成機能、2)生成されたメッシュを利用して、オプティカルフローによる特徴点の追跡を行う特徴点追跡機能、3)3Dモデルの生成に利用されるフレームの選定を行う3Dモデル化フレーム選定機能、4)特徴点追跡機能により取得された各画像

の対応点と3Dモデル化フレーム選定機能により取得される基準点を用いた3次元計測機能、5)3次元計測機能で算出された点データ群からVRMLモデルを自動生成するVRMLモデル自動生成機能、といった5つの機能により構成される。

また、本システムでは、使用するデジタルカメラの機種や撮影方法を限定していない。しかし、デジタル写真測量⁶⁾では、デジタルカメラの画素数や被写体の撮影の方法により精度が低下する可能性⁵⁾がある。そのため、本システムでは、表一1に示すようなパラメータをユーザが被写体に応じて設定することを可能とする。



図一1 システムの概要図

表一1 設定パラメータ

パラメータ名	内容	初期値
α	作成するメッシュの縦横幅	5(Pixel)
a	メッシュの作成条件の特徴点の消失率	70 (%)
b	3Dモデル生成のためのフレーム決定を行うための特徴点の消失率	30 (%)
N	オプティカルフロー抽出の対象領域を定義する縦横幅	200(Pixel)
M	オプティカルフロー抽出を行うフレームの間隔	10 (フレーム)
T	色相の変化の判定に用いる閾値	2 (色相)

3. メッシュ生成機能

メッシュ生成機能では、デジタル画像のフレーム間で追跡されるメッシュが生成される。ここで、メッシュは、初期フレームと追跡中において生成条件を満たす場合に生成される。

デジタル画像全体に対してメッシュを生成させて追跡を行うことは、非効率である。そのため、本研究では、メッシュの生成候補領域をあらかじめ限定し、入力画像の背景が無地であることを利用して効率よくメッシュを生成させる。本機能では、追跡効率を向上させるために、メッシュを図形的意味のあるエッジ付近でのみ生成させる。メッシュ発生の手順（図—2）を次に示す。

- 1) 一般的な領域抽出手法であるラベリング処理を行うために画像の平滑化を行う。
- 2) ラベリング処理を利用して被写体領域を抽出する。
- 3) 被写体領域を包括するメッシュ生成候補領域を求める。
- 4) メッシュ生成候補領域においてエッジ検出を行う。
- 5) エッジ付近にのみメッシュを任意の値 α のサイズで発生させる。この任意の値 α は、被写体に応じて適切に設定する。具体的には、被写体が大きい場合は α の値を大きく設定し、被写体が小さい場合は α の値を小さく設定する。
- 6) エッジが交差するメッシュは、頂点として保持される。

4. 特徴点追跡機能

本機能では、生成されたメッシュの追跡を行う。メッシュ

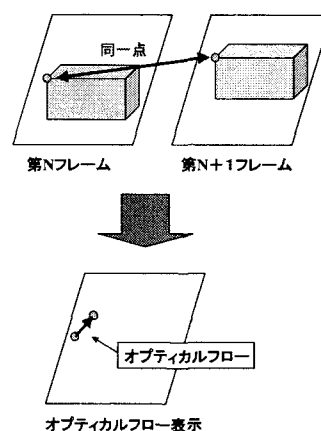
を特徴点として追跡することにより、3D モデル生成に必要な各フレーム間での対応点を自動取得することが可能である。

(1) オプティカルフロー

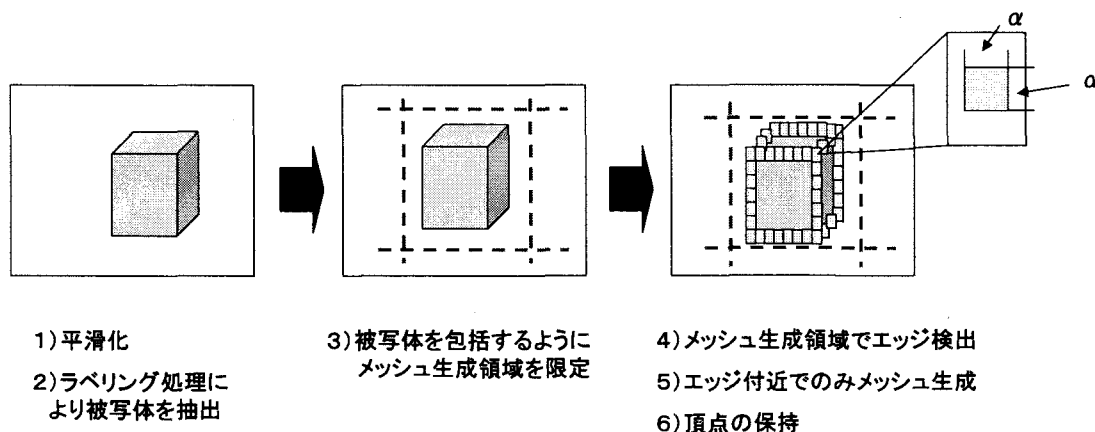
デジタル動画画像の各フレームにおける同一画素は、その運動によって流動的な軌跡を描く。オプティカルフローとは、画素の運動を表現するベクトルである。具体的には、図—3に示すように第一画像の点と第二画像の点を結んだベクトルとなる。一般的なオプティカルフローの算出方法には、勾配法¹²⁾とブロックマッチング法¹²⁾がある。

a) 勾配法

勾配法とは、画像の時空間微分の拘束方程式による条件からオプティカルフローを推定する手法である。この手法は、全探索を行わないため、処理時間が短いという利点を持つ。しかし、画像の明度値が著しく変化する場合、オプティカルフローの誤差が大きい。また、勾配法は、雑音に弱く、拘束条件以外のことが起こるとオプティカルフローの算出結果が大きく乱れる。



図—3 オプティカルフローのイメージ



図—2 メッシュの生成方法

b) ブロックマッチング法

ブロックマッチング法は、画像中の特定の領域をテンプレートのブロックとして、次のフレームの画像中を全探索することにより現在のフレームと次のフレームとの差分導関数の値を最小とする点を対応点としてオプティカルフローを算出する手法である。この手法は、明度値が著しく変化する場合でもオプティカルフローの算出誤差が少なく、雑音にも強いという利点がある。しかし、全探索を行うため計算時間が膨大になるという欠点がある。

(2) 利用手法の選定

オプティカルフローの推定では、勾配法が処理速度の面でブロックマッチング法より優れている。しかし、本システムでは、特別な撮影条件を設けないため、屋外などで明度値の変化や雑音が含まれる可能性が高く、勾配法により精度の高い結果を得ることは困難である。そこで、ブロックマッチング法を改良して特徴点の追跡に用いることとする。

(3) ブロックマッチング法の改良

本研究では、ブロックマッチング法の問題点である処理速度の遅さを改善するために、ヒストグラムを用いてオプティカルフロー抽出の処理速度の向上を目指す。ヒストグラムの作成には、画像内の光量変化対応するために、マンセル表色系による色相を用いる。

手順としては、図-4に示すように、まず、1点の

特徴点における次フレームでの存在候補領域を $N \times N$ ピクセルの小領域として設定する。N は任意の値であり、3Dモデル化を行う被写体に応じて適切に設定する。次に、小領域をメッシュと同様の縦横幅のボックスで分割する。そして、小領域内のボックスごとに色相のヒストグラムを算出し、色相変化があるか判定する。小領域内のボックスにおいて色相変化が閾値 T 以下の場合、そのボックスは、同一色であると判断できる。入力データのオブジェクト以外は、無地の同一色であるため大きな色相の変化がない。そのため、そのボックスが背景である可能性が高いため、オプティカルフローを抽出しない。一方、小領域内のボックスにおいて面積の 50% 以上の画素で色相変化がある場合は、次に示す手順でオプティカルフローの抽出を行う。

- 1) K 番目のフレームにおける小領域内のボックスと K+M 番目のフレームにおける小領域内のボックスの間で、対応する画素間の色相差を算出し、それらの総和を求める。フレーム間隔となる M の値には、被写体に応じて適切な値を設定する。
- 2) 各フレームの小領域の中で色相差を用いた類似評価関数の値を最小とするボックスの組を求め、K 番目と K+M 番目のそのボックス位置のズレから速度ベクトルを求める。本機能では、類似度評価関数として絶対差分和を用いる。

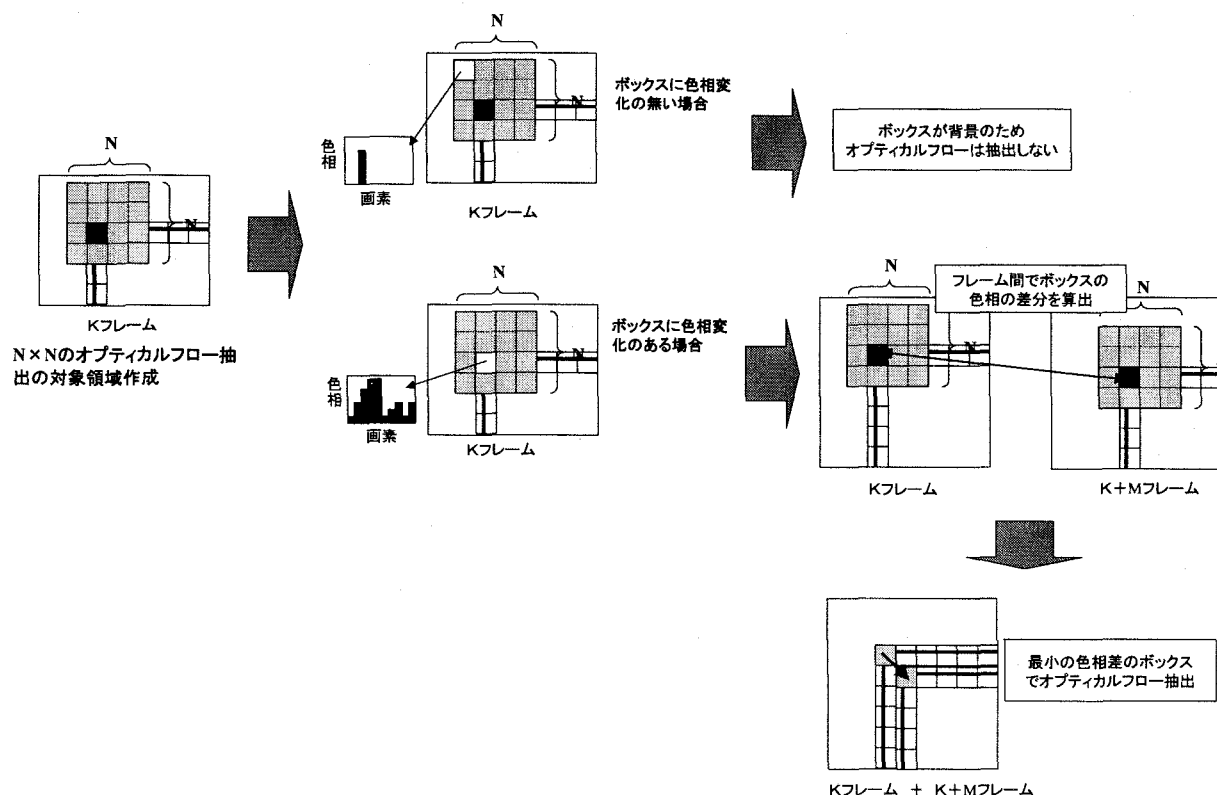


図-4 ブロックマッチング法の改良によるオプティカルフローの抽出

5. 3Dモデル化フレーム選定機能

本機能では、追跡において特徴点が消失する場合、発生条件を満たす時にメッシュの発生を行う。また、3次元計測機能における3Dモデルの生成に用いる基準点群の保持と適切な2つのフレームの選定を行う。

(1) メッシュの発生

特徴点の追跡時には、機械誤差や光の歪みなどの様々な要因により特徴点を消失する。そのため、3Dモデルの生成に支障をきたす程に特徴点が消失した場合は、メッシュを再発生させ、追跡を行う特徴点を取得する必要がある。そこで、本機能では、図一5に示すように特徴点の消失率が $a\%$ に達した場合、メッシュの発生を施行する。この消失率 $a\%$ には、3Dモデル化を行う被写体に応じて適切な値を設定する。また、特徴点の消失率が低い場合でも頂点などの図形的に重要度の高い点が消失すると正確な3Dモデルの生成は困難である。そのため、特徴点の図形的重要度が消失した場合にもメッシュの生成を行う。この図形的重要点は、メッシュ生成時のエッジ情報を利用して算出し、特徴点の追跡時にも保持する。

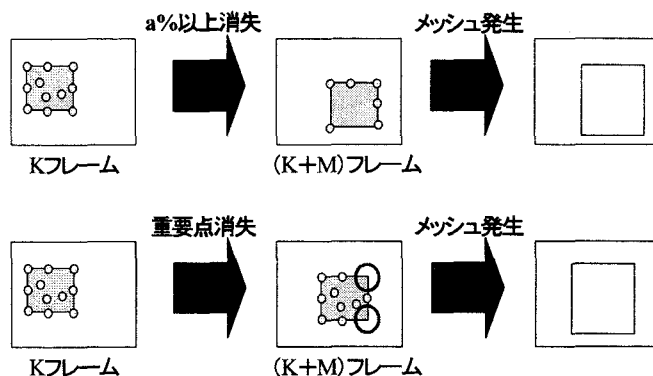
(2) 基準点群の保持とフレームの選定

3Dモデルの連結は、確実に正確なモデルの連結を行うために、4点の基準点を用いる。基準点は、特徴点群から選定される。本機能では、モデル生成に利用した基準点を次のモデル生成時にも特徴点として追跡し続けることで、モデルを連結するために必要な4点の基準点を自動的に取得する。基準点の取得とフレームの選定の手順を次に示し、図一6に図示する。また、本機能では、3次元計測機能における写真測量を利用した被写体の3次元座標値の算出に必要な二枚一組の連続フレーム画像の選定を行う。

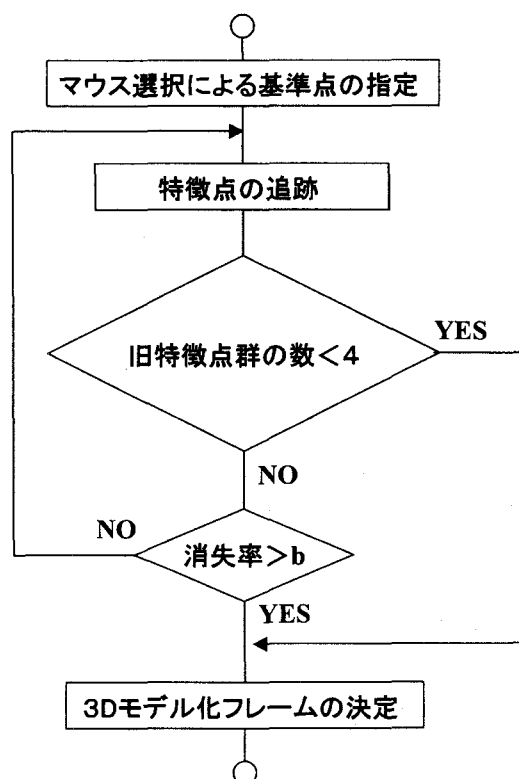
まず、1回目の3Dモデル生成時に、ユーザがマウス選択にて2枚の各フレームで4点ずつ計8点の基準点を指定する。次に、追跡する特徴点が消失率 $a\%$ 以下になり、メッシュを発生させた後も旧特徴点群の追跡を新規に追跡を行う特徴点の消失率が $b\%$ 以下になるまで継続する。旧特徴点群とは、メッシュ発生前に追跡していた特徴点群である。この消失率 a と b には、3Dモデル化を行う被写体に応じて適切な値を設定する。最後に、新規メッシュが生成されたフレームと新規に追跡する特徴点の消失率が $b\%$ 以下となるフレームを3Dモデル作成用のフレームとする。また、新規に追跡する特徴点の消失率が $b\%$ 以下になる以前に、旧特徴点群の数が4未満になる場合、新規メッシュを生成されたフレームと旧特徴点群の数が4以上となる最近フレームを3Dモデル作成用のフレームとする。

6. 3次元計測機能

3次元計測機能では、3Dモデル化フレーム選定機能において選定された基準点候補群と二枚一組の連続フレーム画像を用いて3次元座標データを算出する。本研究の3次元計測機能では、既研究²⁾で開発した遺伝的アルゴリズム(GA)を用いた写真測量機能に、生成された複数のモデルを連結する機能を実装した。



図一5 メッシュの発生条件



図一6 基準点の取得とフレームの選定の流れ

(1) GA を用いた3次元計測機能

本機能では、デジタルカメラなどの発展に伴い、関心が高まっている写真測量技術を利用する。写真測量技術で被写体の3次元情報を算出するためには、カメラのパラメータが必要である。カメラのパラメータとは、左右二枚一組の写真が撮影された時のレンズ中心の位置 (B_{x1} , B_{y1} , B_{z1}) (B_{x2} , B_{y2} , B_{z2}) とカメラの傾き (ω_1 , κ_1 , ϕ_1) (ω_2 , κ_2 , ϕ_2) である。カメラのパラメータ算出に最も重要なのは、パスポイント³⁾⁶⁾の決定である。しかし、パスポイントの決定には、高度な専門家の知識を必要とする。そこで、既研究¹⁾²⁾では、GA を用いて、準最適なパスポイントの組み合わせを算出する手法を開発することで、実用的な3次元計測機能を実現した。

(2) 複数モデルの連結機能

複数の3Dモデルを連結するには、平行移動量や回転角、縮尺を求めることにより、座標系を統一する必要がある。座標系の統一には、写真測量の絶対標定³⁾⁶⁾を用いて必要となる値を算出するが、少なくとも4つの共通な基準点が必要である。そこで、本研究では、モデル生成に利用した対応点を次のモデル生成時にも追跡し続けることで、モデルを連結するために必要な基準点を自動的に発生させる手法を考案した。基準点の発生は、3Dモデル化フレーム選定機能の追跡結果である基準点群からランダムに4点を選択する。基準点自動発生イメージ図を図-7に示す。

7. VRML モデル自動生成機能

本機能は、3次元計測機能で算出された点データ群から3Dモデルを生成する機能である。可視化の手法としては、ISO/IEC14772-1 標準である VRML¹⁴⁾¹⁵⁾を用いる。本研究では、既研究²⁾で開発した VRML 自動生成機能の面情報自動取得機能が平面に特化した機能であったため、3次元対応機能として実装した。

(1) VRML モデル自動生成機能の概要

VRML 自動生成機能は、面情報自動取得機能、VRMLモデル自動生成機能、テクスチャ自動貼り付け機能といった3つの機能から構成される。VRMLモデル自動生成機能とテクスチャ自動貼り付け機能については、既研究²⁾において実現しているため、そのまま利用する。

(2) 3次元の面情報自動取得機能

3次元計測機能から算出された3次元座標データから、3次元モデルを創出するには、オブジェクトの面情報が必要である。オブジェクトの面情報とは、オブ

ジェクトの面を構成する点の組み合わせの情報である。本機能では、3次元のドロネー分割¹⁶⁾の手法を用いて、面情報の自動取得を行う。

3次元のドロネー分割は、次の5つのステップにより行う。

- 1) 与えられた点集合 $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ の全てを内部に含むような3角錐 (A, B, C, D) を作成し、3角錐のリストを作成する。具体的には、点集合の中で最も離れている点の距離の3倍を一辺とする正三角錐を作成する。
- 2) 与えられた点集合から点が無くなるまで順番に1点ずつ取り出す。次に、取り出した点 P_i がリストの各3角錐における外接球の内部にあるかどうかを判定する。最後に、点 P_i を内部に含む全ての外接球を持つ3角錐を見つけ、2つの3角錐において接するドロネーフェースがあれば、それを削除する。そして、点 P_i とそれらの頂点との間に新たに線分で結び、得られた全ての3角錐をリストに加える。
- 3) 点 A, B, C, D のいずれかを頂点とする3角錐をリストから削除する。
- 4) 3角錐と3角錐が接する3角形を削除し、他のどの3角錐とも接しない3角形を残す。

上記の手法だけでは、凸の面で構成されているモデルでは問題ないが、凹の面があるモデルにおいて不具合が生じる場合がある。また、特徴点追跡機能においても、凹の面の追跡は非常に困難である。しかし、本研究は、デジタルビデオカメラで撮影した画像に追跡技術を利用して対応点を取得し、モデル化に用いるフレームの選定を行っている。そのため、凹の面がある場合は、凹のそれぞれの面を分解するように撮影することでこの問題を解決できる。図-8に凹の面の撮影イメージを示す。

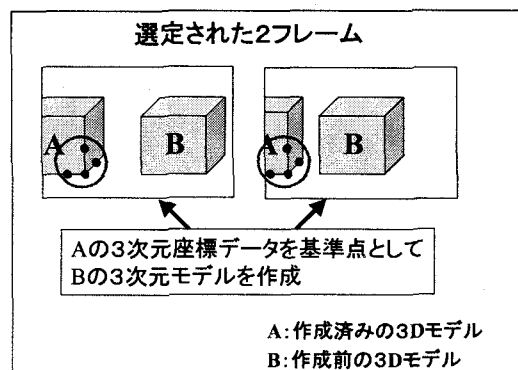
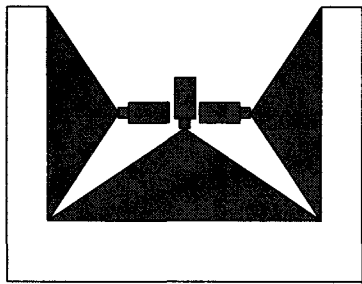


図-7 基準点自動発生イメージ図



それぞれの面に対して撮影

図-8 四の面の撮影イメージ

8. 実証実験

実証実験では、パソコンのモニタをデジタルビデオカメラで周回撮影し、本システムを適用することで各機能の検証を行う。デジタルビデオカメラは、SONYのDCR-TRV70を利用した。また、その仕様は、動画時有効画素数108万画素、焦点距離25mm(35mm換算値)である。また、システムの設定パラメータには、表-1に示した初期値を設定した。

(1) メッシュ発生機能の検証

メッシュ生成機能は、デジタル画像のフレーム間で追跡されるメッシュが生成される。本機能の検証を行うために、入力動画のスタートフレームにおけるラベリング後のエッジ検出画像を図-9に、エッジ付近にメッシュを150点発生させた画像を図-10に示す。

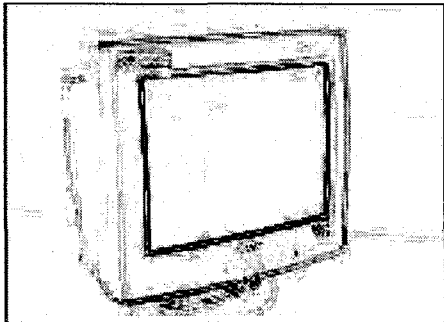


図-9 エッジ検出画像

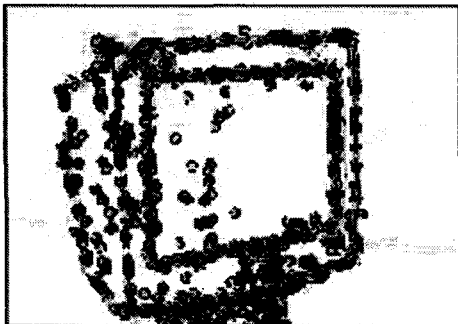


図-10 メッシュ発生画像

図-9と図-10が示すように、本機能によって正確にオブジェクトの抽出ができ、抽出したエッジ上に多数のメッシュの生成が可能なことを確認できた。

(2) 対応点取得の検証

対応点取得の検証では、実際の対応点と追跡により取得した対応点の2点間距離を算出して対応点の精度を確認する。図-10で示したメッシュ150点を追跡した結果、フレーム選定時にはメッシュが115点になった。これら115点の対応点の2点間距離を表-2に示す。対応点の平均距離の7.63ピクセルは、実際の距離に変換すると極小の距離となる。例えば、デジタルカメラ(焦点距離25mm、画素サイズ0.0035)により1mの距離から撮影した場合、7.63ピクセルは約1mmの距離となる。そのため、写真測量を行うために十分な精度の対応点を全自動で取得できたことが確認できた。この結果により、これまで困難とされてきた対応点の全自動化を動画画像が持つ連続情報を利用することで実現できた。

(3) 3Dモデル生成の検証・評価

3Dモデル生成の検証では、入力動画から本システムで3Dモデル群を作成し、作成された各モデルの連結を行って本システムの有用性を評価する。フリーハンドで撮影された入力動画のフレーム数は500枚である。また、フレーム間隔を5ピクセルにしたため、計算対象フレームは100枚である。入力動画を本システムに適用した結果、100枚のフレームから計12枚のフレームが選定され、6組のモデルが生成された。そして、6組のモデルを連結したVRMLモデルの正面図を図-11に、上面図を図-12に示す。

3次元計測機能の精度については既研究で実証済みであり、図-11と図-12からも確認できるように、人が現実味を持って認知するために十分な精度で3次元座標データを算出できることが確認できた。また、6組のモデルの連結についても、連結に利用する基準点を自動発生させ、連結できているのが確認できた。この結果より、本システムが全自動の3Dモデルの生成技術として、有用なことを立証した。

表-2 選定フレーム間の対応点の距離(単位:Pixel)

点名	正確な対応点		算出した対応点		2点間距離
	X座標	y座標	X座標	y座標	
1	628	448	627	440	8.06
2	634	460	634	458	2.00
3	640	463	639	464	1.41
4	644	463	641	463	3.00
5	652	454	651	457	3.16
...	...	...	...	...	...
115	1432	1104	1431	1100	4.12
平均距離					7.63

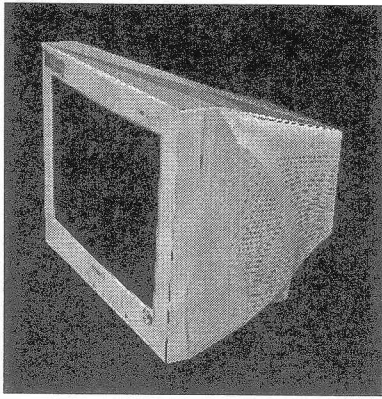


図-1 1 VRML モデル (正面図)

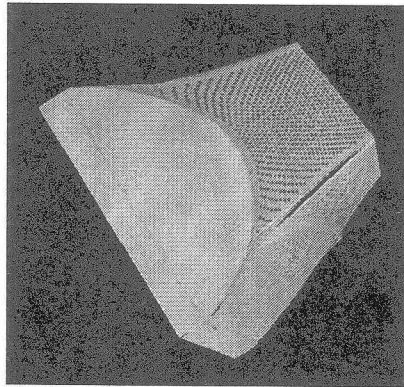


図-1 2 VRML モデル (上面図)

9. おわりに

本研究では、動画像が持つ連続情報を利用して対応点の自動取得を実現することにより、既研究²⁾の課題でもあり、また、これまで困難とされていた全自動の3次元モデル生成技術を確立できた。それに伴い、誰もがデジタルビデオカメラでオブジェクトを撮影するだけで、容易に3次元モデルを生成できるため、今後は、土木構造物のライフサイクルなどへの様々な利活用が期待できる。

しかし、本研究では、背景が無地でなければメッシュ生成機能や特徴点追跡機能の精度が落ちる課題もあるため、全自動で3Dモデル化できないオブジェクトもある。これらは、今後の課題であるが、現在多くの研究機関で追跡技術^{17)~19)}が追求されていることから、これら既研究の成果を取り入れた展開研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 村木広和, 田中成典, 古田均, 北川悦司, 野田肇 : 写真測量技術を用いた2Dデジタル画像からの3Dモデル空間の創出に関する基礎研究, 土木情報システム論文集, 土木学会, Vol.9, pp.67-74, 2000年.
- 2) 北川悦司, 田中成典, 古田均, 杉町敏之 : 2Dデジタル画像を用いたWeb/3Dモデルハウスの構築に関

- する研究, 土木情報利用技術論文集, 土木学会, Vol.12, pp.217-226, 2003年.
- 3) 村木広和, 田中成典, 古田均, 北川悦司, 野田肇 : デジカメ活用によるデジタル測量入門, 森北出版, 2000年.
- 4) カール・クラウド : 写真測量, 技術書院, 1993年.
- 5) 解析写真測量委員会編 : 解析写真測量 (改訂版), 日本写真測量学会, 1997年.
- 6) T. Schenk : デジタル写真測量 Digital Photogrammetry Volume I, 日本写真測量学会, 2002年.
- 7) 渡邊, 古賀 : 3次元・動画像処理による移動物体の認識アルゴリズムの研究, 平成13年度研究成果報告書, 広島県産業科学技術研究所, pp.56-70, 2001年.
- 8) M. Kaneta. et al : Image processing method for intruder detection around power line towers, ICICEE76-D, No.10, pp.1153-1161, 1993.
- 9) D. J. Panton : A flexible approach to digital stereo mapping, photogrammetric engineering and remote sensing, Vol.44, No.12, pp.1499-1512, 1975.
- 10) 佐藤智和, 神原誠之, 横矢直和, 竹村治雄 : マルチベースラインステレオ法を利用した動画像からの屋外環境の3次元モデル化, TVRSJ, Vol.7, No.2, 2002年.
- 11) C. Tomasi, T. Kanade : Shape and motion from image streams under orthography : a factorization method, Int.Jour.of ComputerVision, Vol.9, No.2, pp.137-154, 1992.
- 12) 古賀由紀夫, 片山明伯, 渡邊睦, 山本美子, 渡部悠紀, 岩田穆 : 移動観測系における移動物体検出・呈示システムの検討, コンピュータビジョンとイメージメディア研究会報告, CVIM, No.2, pp.91-98, 2003年.
- 13) 金澤清, 金谷健 : 大域的な整合性を保証するロバストな画像の対応づけ, 情報処理学会論文誌, CVIM, Vol.44, pp.70-77, 2003年.
- 14) 田中成典, 小林孝史他 : Web工房シリーズVRMLの達人, 森北出版, 1999年.
- 15) R. Carey, G. Bell : 注解VRML2.0リファレンスマニュアル, 三美印刷, 1998年.
- 16) 徐剛 : 写真から作る3次元CG, 近代科学社, 2001年.
- 17) K. H. Seo, T. Y. Choi, J. J. Lee : Adaptive color snake model for real-time object tracking, Proc IEEE Int Conf Rob Autom, Vol.1, pp.122-127, 2004.
- 18) M. Sugisaka, S. Sato : Improvement of the precision of the gradient method and object tracking using optical flow, Artif Life Robot, Vol.7, No.4, pp.182-184, 2004.
- 19) M. J. Lucena, J. Fuertes, N. P. Delablanca, A. Garrido : An optical flow probabilistic observation model for tracking, Proc. IEEE Int. Conf Image Process, Vol.3, pp.957-960, 2003.

(2004.5.21受付)