

Web2.5D用電子カタログシステム実現手法

Techniques of Electronic Catalog System for Web2.5D

日本大学 寺沢幹雄 株式会社ナブラ 小高金次 佐藤創 和田重久 外山武徳

Mikio Terasawa, Nihon University,

Kinji Odaka, So Sato, Shigehisa Wada, Takenori Toyama, Nabla Inc.

terasawa@eco.nihon-u.ac.jp, kinji@nabla.co.jp

so@sa.to, sige@nabla.co.jp, toyama@mail.t2d.gr.jp

本論文では、実時間視点モーフィングを用いた Web 用立体表示である Web2.5D を実現するための実証実験的電子商品カタログシステム実現手法を述べ、データ自動生成法を提案する。実時間視点モーフィングは未校正カメラで撮影された 2 視点画像から 2 次元処理により中間視点画像を実時間で生成する手法であり、本システムでは複数画像に対応することで対象物体の全周表示を可能とした。自動抽出した特徴点に対して、データ作成者が入力した 8 組以上の対応点から得られるエビポーラ制約に基づいて面情報が自動生成される。オクルージョンにより対応点の自動決定が困難な場合には、レイヤ構造をサポートした専用エディタで修正する。本手法はバナー広告や画面背景にも適用できるため、通信販売、製品説明、電子会議など多くの応用に有効である。静止画像以外の転送データ量は数十キロバイト程度であるため、電話帯域のインターネットでも実用的に利用できる。

キーワード: コンピュータグラフィクス, イメージベースレンダリング, ステレオビジョン, Web3D, 視点モーフィング

This paper presents techniques of a tentative electronic catalog system for Web applications that is based on real-time view morphing. Real-time view morphing generates images of intermediate views from photographs in real-time. The data is automatically created based on the epipolar constraint that is obtained from specified corresponding points. An editor is developed to deal with occlusion manually. Users obtain images of intermediate views interactively on Web browsers through the narrow-band Internet because the data size except for still images is less than 100KB. The method is useful for many practical Web applications such as on-line shopping and network conference.

Keyword: Computer graphics, image-based rendering, stereo vision, Web3D, view morphing

1 はじめに

インターネット上での電子カタログによる対象物体の情報提供はオンラインショッピング、製品説明、電子会議、遠隔通信教育、オンラインマニュアルなどの応用に有効である。通常は文字、静止画像、動画などの手段によって一方向に情報が提供されているが、嗜好の多様化に対応するためにユーザが対象を操作できる対話的表示手法の重要性が増すものと考えられる。しかし、電子カタログは製品を販売、利用を促進するための手段であるため、高価なコストをかけたり特殊な機器を利用してカタログデータを作成することはできない。不特定多数の人が電子カタログを閲覧することを想定すると電話回線程度の帯域でも利用可能なデータの通信量が望まれ、表示自体も高速でなければならない。美術品や中古品を扱う場合には実物の質感を表現するだけでなく、実際にある汚れや傷なども忠実に表示しなければならない。以上のようにホームページのコンテンツとして一般利用者が対話的表示手法を実現するためには、データ入力の手軽さ、速度、画質が重要になる。

対象物体を対話的に操作して3次元表示する手法として、3次元幾何モデルを用いてVRMLなどの言語で記述されるWeb3Dの利用が広がりつつある。Web3Dは物体の色やテクスチャを変更したり、拡大縮小、変形できる柔軟性を持ち、安価で高速なグラフィックハードウェアが利用できるため実用性が増してきた。しかし、実物と同様なリアリティのある形状を作成するためには3次元測定器などの機器や3次元CGモデラの特種な知識が必要になり、インターネットオークションのように一般の利用者がデータを作成するのは難しい。さらに、高解像度のテクスチャを継ぎ目なく貼るためには、注意深い作業が必要になる。

3次元幾何モデルを用いた幾何ベースの表示 (Geometry-based Rendering) に対して、より積極的に実写画像を利用して原画像の画質を忠実に再現する表示手法は画像ベースの表示 (Image-based Rendering) と呼ばれている。画像ベースの表示手法を利用したWeb用の対話的な3次元表示をWeb2.5D

と呼び、速度、画質の要求を満たす実時間視点モーフィングを用いる手法が提案された [寺沢 01]。実時間視点モーフィングは対象を2視点から撮影した画像を用いて中間視点画像を生成する視点モーフィングを拡張した表示手法で、少量の通信データから歪みのない高品質な画像を実時間で生成できる。撮影するカメラは位置、姿勢などの外部パラメータ、およびアスペクト比などの内部パラメータが未知の未校正カメラが利用できる。したがって、手持ちのデジタルカメラなどで撮影した画像に対して後処理で手軽に必要なデータを作成するため、更新の頻繁なWebアプリケーションに有効である。

しかし、実時間視点モーフィングでは、入力情報として指定する面の数が増えると手作業での入力は困難となる。実用的なWeb2.5Dを実現するためには付加情報の入力を支援するシステムの開発が欠かせない。本論文では、対象物体の3次元表示を行うWeb上の電子商品カタログの実現を目指して開発した実時間視点モーフィングの実証実験システムの概要を述べ、システムの中で用いたエピソード制約に基づく付加データ自動生成手法を提案する。

2節では、画像ベース表示における実時間視点モーフィングの位置付けを明確にする。3節では、実時間視点モーフィングの実証実験システムの概要について述べる。4節では、ローカルマシンのブラウザ上で稼働するビューアでの実時間視点モーフィング実現手法について述べる。5節では、オフライン作業でデータを作成するエディタにおける自動生成手法について説明する。6節では、本システムの実現結果と応用例を示す。

2 関連研究

画像ベース表示手法の1つは、写真やビデオから一旦3次元モデルを作ってWeb3Dで立体表示を行う方法である。Virtualized Reality [Rander97] は、校正された複数のステレオカメラの組を用いて立体情報を得る手法であり、ビデオ画像を実時間で

処理して自動的に3次元情報とテクスチャを得ることができる。しかし、精密に校正されたカメラを用いた特殊な装置の中でしか利用できないため一般のWeb応用には適用できない。境界表現の3次元モデルを自動的に復元する方法としては、3画像以上からの形状復元、2画像からのアフィン復元、基底に基づく射影復元などがある[佐藤 99]。これらの方法は、レンズのゆがみ、離散化に伴う誤差、ノイズなどの影響があるため、必ずしも安定に3次元情報が得られるとは限らない。あらかじめ用意された直方体などの基本立体と画像を照合させる幾何ベースと画像ベースの混合手法[Debevec 96]は安定で表示精度も十分であるが、建物などの単純な既知の形状以外に適用するのは困難である。

画像ベース表示のもう一方の手法は、3次元情報を生成せずに、写真やビデオ画像から直接中間視点画像を生成する方法で、処理の安定性に関して有利である。Light Field [Levoy 96] や Lumigraph [Gortler 96] は光線パラメータに対応する輝度値を実写画像から記録して、配列として並べることで任意視点からの画像を直接生成することができるが、データ量が膨大になるためWebの応用には適さない。QuickTimeVRのようなパノラマ技術[Chen 95][Szeliski 97]は原画像を貼り合わせた1枚の画像を用いるためデータ量が少ないが、撮影に細心の注意が必要であり、画像のつなぎ目で画質が劣化することがある。また、カメラを中心として周りを見渡すようなウォークスルーなどの応用には適しているが、物体を周囲から見る電子カタログには適さない。視点補間[Chen 93]は、投影面が平行で焦点距離が同じ2枚のステレオ画像の対応点が同一水平線上に並ぶという性質を用いて中間画像を生成する手法である。カメラの校正が必要になるため手持ちのデジタルカメラなどで手軽にデータを得ることはできない。SeitzとDyerは、任意視点の2画像をステレオ画像の状態にすることで、視点補間を適用して中間視点画像を生成する視点モーフィングを提案した[Seitz 96]。位置、姿勢などの外部パラメータもアスペクト比などの内部パラメータも分からない手持ちのデジタルカメラで撮影した画像に適用でき、2画像と少

数の特徴線情報だけで中間視点画像ができるのでデータ量が少ない。しかし、処理の途中で画像モーフィング[Beier 92]を用いるために処理速度は画素数と特徴線数の積に比例し、単純な例でも数分の計算を要する。また、平行化変換座標という歪んだ座標系で変形のパラメータを設定しなければならないため、適正な値を決めるのが困難である。

これに対して実時間視点モーフィングは、中間段階で用いる画像モーフィングの代わりにテクスチャマッピングを行うことで実時間のモーフィング表示処理を可能とした手法である[寺沢 01]。特徴線の代わりに特徴面を用いることで面内部の点が線形に補間されるため、変形のパラメータ設定をする必要がない。また、未校正カメラを用いることができ、データ量が少ないという視点モーフィングの利点は変わらない。

3 システム概要

実時間視点モーフィングは図1に示すように同一対象を撮影した2画像、8組以上の対応点、任意の数の対応面を入力情報とし、2画像間の任意の視点における画像を生成する。対応点は画像上に定義された2次元の点であり、奥行き情報は持たない。また、対応面も同様に2次元の情報である。2画像間を補間するので、3次元モデルのように物体のすべての面を定義する必要はないが、1画像で定義した面には必ず他の画像で対応する面を定義しなければならない。したがって、図1の面定義のように画像上で見えていない部分についても推定で対応する面を指定する。

実時間視点モーフィングを実現する電子カタログシステムは、ブラウザ上で物体を3次元的に回転させて表示するビューアと、面などの付加情報を作成するエディタからなる。一般のユーザはブラウザ上のビューアを用いることで、通常のホームページと同様にWebサーバに蓄積された視点モーフィング用のデータから途中視点の画像を見ることができる。ビューアでは3次元モデルを用いる場合のように任意の視点から対象物体を見ること

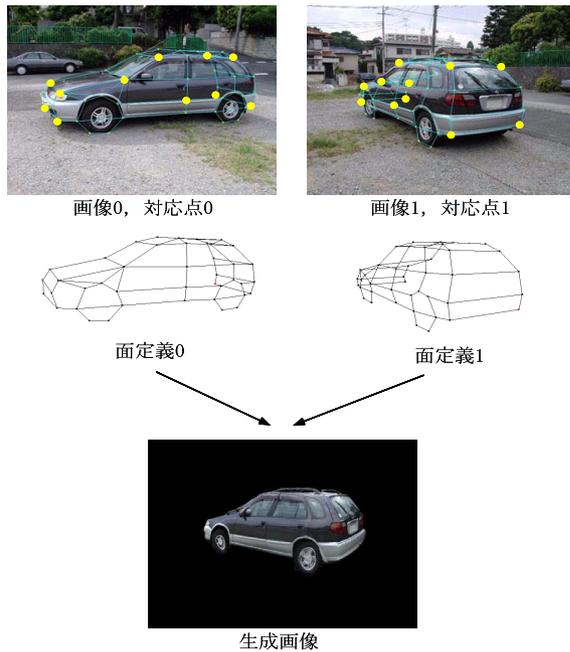


図 1: 実時間視点モーフィングの入出力情報

はできないが、画像の内挿範囲内の視点から見る
ことができ、画像を拡大縮小することで擬似的な
奥行き方向の視点移動効果が得られる。サーバから
送られるのは 2 枚の静止画像と対応点、面情報
であり、中間視点画像はユーザのマウス操作に応
じてローカルマシン上で実時間に生成される。

電子カタログ作成者は専用のエディタを用いて、
2 枚の静止画像に対して対応点、面などの必要な
情報をオフライン作業で生成し Web サーバで管理
する。

4 ビューアでの中間視点画像生成

ビューアでは定義された面の頂点に対して視点
モーフィングを適用し、面内部の画像をテクスチャ
マッピングで表示する。ただし、テクスチャマッ
ピングは 2 次元から 2 次元への写像であり、奥行き
情報は持たない。視点モーフィングを行うため
には、最初に 2 画像をステレオ画像の状態に変換す
る。すなわち、2 画像を焦点距離が同じで対応点の
 y 座標が等しい平行な画像に変換する 3×3 の行列
を求める。このような変換を平行化と呼び、図 2 に

おいて画像 I_0, I_1 は平行化によりそれぞれ \hat{I}_0, \hat{I}_1
に写像される。

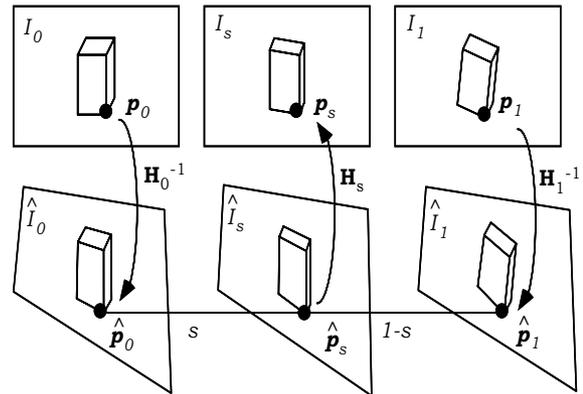


図 2: 平行化変換

平行化の変換行列を求めるためにはエピポール
を利用する。エピポールは幾何学的には他画像視点
の投影であり、入力された 8 組以上の対応点から得
られる基本行列によって計算できる [Hartley 97]。
基本行列はカメラのアスペクト比などの内部パラ
メータとカメラ位置などの外部パラメータを含む
情報を持つが、内部パラメータと外部パラメータ
を独立に決めることはできない。基本行列が求ま
るときカメラは弱校正されたという。平行化変換
は以下に述べる 3 つの 3×3 行列の積で計算でき
る [Seitz 96]。最初に、エピポールは他方の画像の
視点を表すので、2 画像を平行にするために同次座
標で表されたエピポールを無限遠に変換する。次
に、変換されたエピポールを水平にすれば平面内
での方向を合わせることができる。最後に、エピ
ポールの y 座標が等しくなる変換を施すことで焦
点距離が等しいステレオ画像の状態になる。平行
化変換の行列はビューアがデータをロードする時
点で一度だけ計算する。

ビューア画面内のマウスの移動量に対応する内
挿パラメータ s ($0 \leq s \leq 1$) について、両画像を s
の比に内分する画像 I_s を求めるものとする。平行
化座標では中間のどの視点であっても対応する点
の y 座標が等しいことから、平行化座標系での内
挿画像 \hat{I}_s は \hat{I}_0, \hat{I}_1 の x 座標の線形補間で求めるこ
とができる。しかし、 \hat{I}_s を I_s に戻す 3×3 変換行

列 H_s を解析的に安定に求めることは難しいので，Seitz らと同様に対象を囲む長方形頂点の変換行列で近似すると，行列 H_s は 8×8 行列の線形解で求められる．この計算は，各 s について一度だけ行えばよい．

行列 H_0, H_1, H_s が求まった後に，面の各頂点について内挿点を求める．面の一つの頂点 p に対応する画像 I_0, I_1 上の点の同次座標表現をそれぞれ p_0, p_1 とすると，平行化画像における頂点の同次座標表現 \hat{p}_0, \hat{p}_1 は $\hat{p}_0 = H_0^{-1}p_0, \hat{p}_1 = H_1^{-1}p_1$ で求められる．このとき， \hat{p}_0, \hat{p}_1 の y 座標は等しいので，平行化座標系での内挿点 \hat{p}_s は $\hat{p}_s = (1-s)\hat{p}_0 + s\hat{p}_1$ を x 座標についてのみ計算すればよい．画像座標系の点 p_s は $p_s = H_s\hat{p}_s$ で求まる．すべての頂点について上記の補間処理を行った後，面内部の画像を 2 次元から 2 次元へのテクスチャマッピングすることで中間視点画像が得られる．各頂点に施す平行化変換は 3×3 行列の適用であるため，表示時間は通常のテクスチャマッピングによる表示時間とほとんど変わらず実時間で実現できる．

面による表示では通常のポリゴンによる 3 次元 CG と同様に図 3(1) のように輪郭部分で切り取られたような画像になるが，本システムでは 2 次元処理であることを利用し，面の外側に原画像のテクスチャを持つ仮想的な面を生成することで図 3(2) のように輪郭部分の画質を保つことができる [寺沢 01]．



(1) 輪郭処理前 (2) 輪郭処理後

図 3: 仮想面による輪郭部分の処理

5 エディタにおける面情報生成

実時間視点モーフィングでは，2 画像の他に弱校正のための 8 組以上の対応点と面情報を入力する．2 画像の対応点の色は正確に一致しないので弱校正の対応点の自動的な対応付けは安定性を欠く [Luong 93]．しかし，8 組程度と数が少なく指定が容易なので，弱校正のための対応点に関しては図 4 に示すような点をユーザが手作業で入力することとする．これに対し，面情報の入力は一様に面の

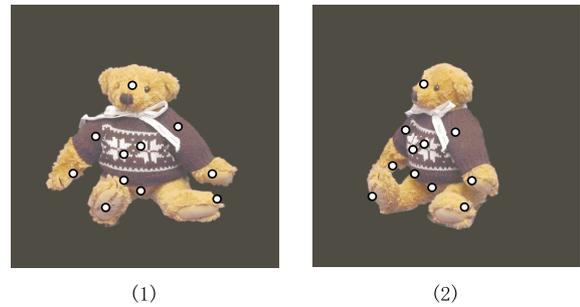


図 4: 弱校正用対応点

数が多いためユーザの指定を支援する手法が必要となる．本節では，エディタにおける面生成のための自動化手法について述べる．

5.1 1 画像における面生成

実時間視点モーフィングでは入力された 2 画像について対応する面を定義しなければならないが，自動化処理では最初に一方の画像だけで特徴点を計算して面を生成してから他方の画像で対応する面を求める．特徴点抽出には，境界エッジのコーナーを局所的フィルタで求める Susan 演算子 [Steve 97] を用いる．Susan 演算子はフィルタ領域内で中心との色の差が閾値を越える画素の数でコーナーを検出する手法で，RGB それぞれの輝度差の合計が閾値以上のものを特徴点とする．図 5 に Susan 演算子で抽出された特徴点の例を示す．

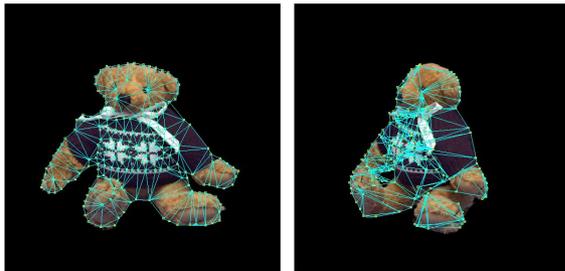
色で抽出した特徴点が必ずしも奥行きを表現する特徴点になるとは限らない．たとえば円柱であれば特徴点は輪郭でしか抽出されないが，奥行きを与えるためには中心部分の特徴点も必要である．



図 5: 自動抽出された特徴点

このような場合には専用エディタを利用した手作業で特徴点を追加する。

次に抽出された特徴点を結合して面を生成する。面は特徴点を反時計回りにたどるものとし、逐次 Delaunay 三角形分割 [Lischinski 94] によって正三角形に近い三角形を生成する。物体が凹で物体外部に面が生成される場合には、色情報から外部であることを判断して面を削除する。図6(1)に特徴点を結合して面を生成した例を示す。オクルージョ



(1) 特徴点を結合した面 (2) 対応点から生成した面

図 6: 面の生成

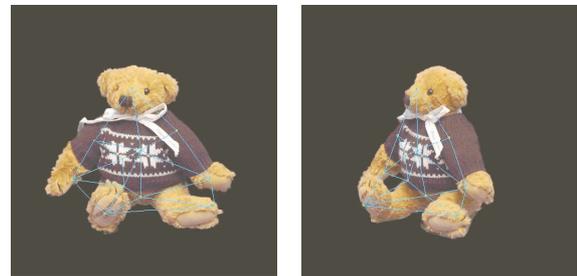
ンが生じる場合、すなわち一方の画像では見えるが他方では見えない部分が存在する場合には、部分的に可視の画像において面を生成する。

5.2 特徴点の対応付け

次に、生成された面に対応する他の画像での面を求めるために、特徴点の対応点を求める。対応点は探索窓を用いたローカルサポートで求めるが、画素点すべてを調べるとことは計算コストおよび安定性に関して問題になる。本研究ではエピポラ制約を利用して安定で高速な対応付けを行う。エ

ピポラ制約により、対応点の同次座標 p_0, p_1 には 3×3 の基本行列 F を用いて $p_1^T F p_0 = 0$ の関係がある。これは、一方の画像の一点に対応する点が、他方の画像の直線上に拘束されることを表す。したがって、ローカルサポートによる探索は直線上だけを考慮すればよいので、計算時間が大幅に短縮される。

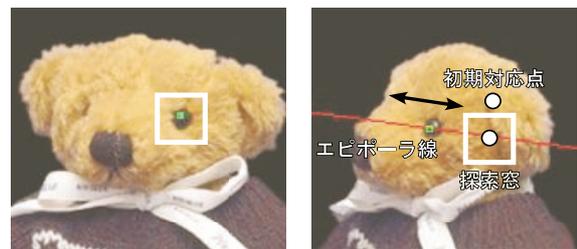
最初に、1 画像における弱校正用対応点の逐次 Delaunay 三角形分割により図7のような三角形を求める。特徴点が定義されている画像において、近くの三角形から特徴点の線形補間パラメータを計算し、対応する三角形に写像して初期対応点を求める。



(1) (2)

図 7: 初期対応点を決める三角形

次に、図8(2)に示すように、エピポラ線上で初期対応点に最も近い点の周辺において正方形領域の探索窓を定義し、基準となる特徴点の探索窓(図8(1))との色の相関係数 [Zhang 94] が最も大きい点を対応点とする。本手法で得られた対応点を図6(2)に示す。



(1) (2)

図 8: エピポラ線上の対応点探索

本手法は色の相関関係を調べているので両画像で面が見える場合にしか適用できない。輪郭部分

などで一方の画像でしか見えない場合には、エディタによってユーザが修正する。

5.3 面の描画順序

面には奥行き情報がないために、Zバッファを用いた隠れ面消去は行えない。面は描いた順に上書きされるので、描画順序の決定が重要になる。密な対応関係がとれる場合には位相的つながりを考慮して描画順序を決定する方法があるが [McMillan95] [Fu98]、視点が離れている場合には有効ではない。本システムでは、エピポールからの距離によって描画順序を決定する。エピポールは視点位置の投影なので、面が見えている画像において頂点がエピポールから遠いほうから順に表示することで近似的に隠れ面を消去する。例えば、図9では画像 I_0, I_1 の空間上の視点をそれぞれ v_0, v_1 とすると、エピポール e_0, e_1 は図のような関係になる。このとき画像 I_0 において面が見える場合には、3つの面の頂点 p_A, p_B, p_C とエピポール e_0 との距離を比較し、A, B, C の順序で面を描画する。面が表向きに現れる画像において部分的に順序づけを行い、統合することで全体の描画順序を決定する。

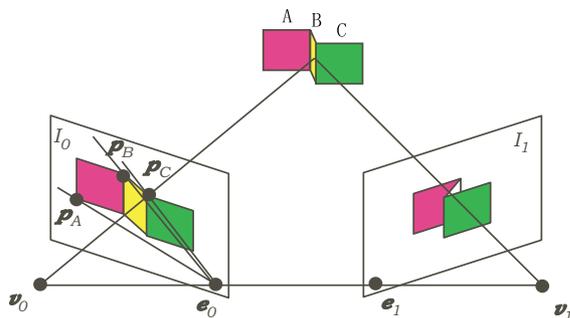


図 9: 面の描画順序

5.4 手動による定義

実時間視点モーフィングは原理的に2画像の補間画像を生成する手法であるが、本システムでは2画像の組毎に処理を適用することで2枚以上の複数画像の内挿画像を生成することができる。し

たがって、複数画像を用いることで対象物体を全周囲から見渡すような電子カタログを作成できる。複数画像を用いる場合でも、注目している2画像の組の内分比率を指定するだけで中間視点画像を生成でき、3次元空間情報は必要ない。しかし、マウス操作のユーザインタフェースとしては3次元空間との対応関係があるほうが望ましい。そこで、エディタでは図10のような画面で近似的な視点位置を指定することができる。

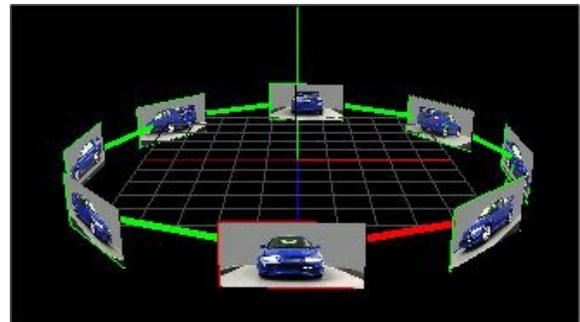


図 10: 疑似視点位置定義

全周表示を行うための画像枚数は対象物体の凹凸の複雑さに依存し、単純な例では3, 4枚程度でもよいが、凹凸が複雑なものでは6から12枚程度が必要になる。Web上で利用する電子カタログシステムでは、通信データ量をおさえるために可能な限り少ない画像数が望ましい。しかし、画像数が少なくなると隠れて見えなくなるオクルージョンが多くなるために自動的な対応付けが行えなくなる。自動的な対応付けが行えない部分に関しては図11のように手動で対応点を定義し、レイヤ構造を持たせて描画順序などの属性を指定する。複雑な凹凸を持つ対象に対して、何枚の画像を用いるかは画質と手動作業量のトレードオフとなる。

6 実行例

ビューアはInternet Explorerなどのブラウザ上で利用する。ActiveX用のdll版とJava版があるが、通常は描画ライブラリの標準化と処理速度の点で有利なdll版を用いる。プログラムのダウンロードサイズは現バージョンで348KBである。

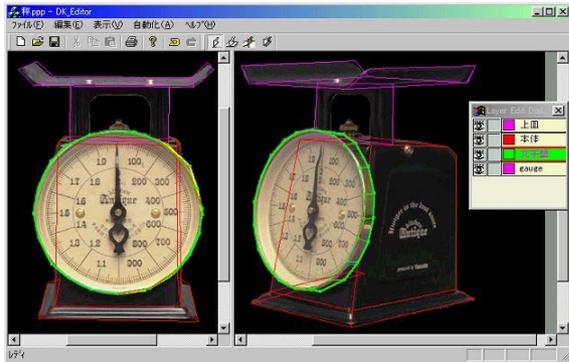


図 11: レイヤ構造による隠れた面の描画順序指定

トルソー，車，人物の表示例をそれぞれ図 12，図 13，図 14 に示す．図はマウス操作で回転した画像のうちの 6 枚を表示したもので，実際には連続的に全周囲を回転するように内挿画像を生成できる．原画像の写真は 1 台の手持ちカメラで撮影され，回転台などは使用していない．焦点距離や画角が変わる場合でも安定に中間視点画像を生成することができる．仮想面で輪郭を補正するので，図 14 の例のように髪や指などの 3 次元モデルでは表現しにくい対象も扱うことができる．

この例で用いた画像，面のデータ量を表 1 に示す．面の数は，2 枚の画像の組毎に異なるが，典型的な数を示している．データ量は画像と面を合計しても 140KB 程度であり，短時間でダウンロードできる．GeForce2 のグラフィックボードを用いた PentiumIII 866MHz の PC では 1 フレームの視点モーフィング処理と描画の合計時間は 0.027 秒であり，計算時間が 5 分以上かかった従来の視点モーフィングに比較して十分実用的である．

表 1: 実行例のデータ量

	トルソー	車	人物
画像枚数	10	8	8
画像サイズ	256 × 512	512 × 256	512 × 512
画像データ量	75.3KB	72.9KB	75.6KB
面数	約 170	約 120	約 290
面データ量	64.6KB	29.5KB	41.6KB

ビューアはブラウザ内の通常表示の他に図 15 に示すようにバナー広告の中に表示し，対話的に回転することができる．また，ActiveX を用いた版ではローカルにデータを持つことで図 16 に示すよ

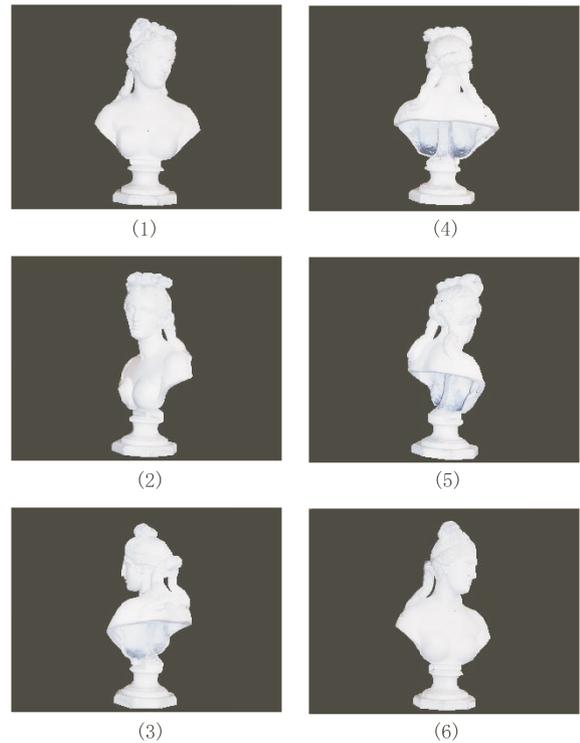


図 12: トルソーの表示例

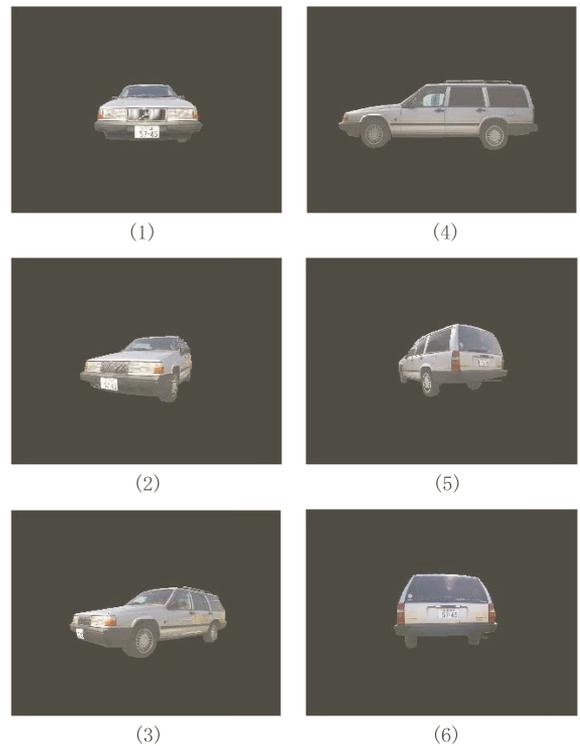


図 13: 車の表示例

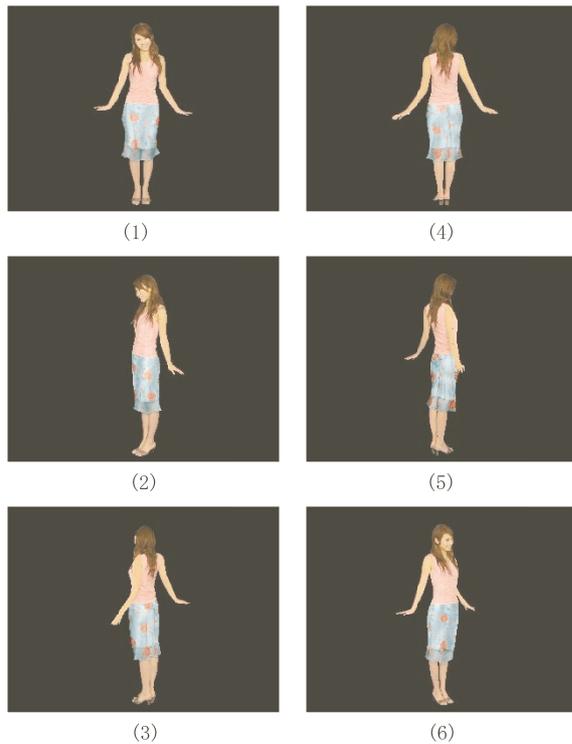


図 14: 人物の表示例

うにデスクトップのアクセサリとして利用することができる。



図 15: バナー広告への応用

データ作成の自動化処理における計算時間は画像サイズや特徴点数に依存するが、おおむね特徴点抽出計算は 1, 2 秒, 対応点計算は 2, 3 秒, Delaunay 三角形分割および面描画順序決定は合計で 0.1 秒程度である。手作業による弱校正用点の指定は 2 枚の画像の組について 1, 2 分程度である。ただし、特徴が明確でない単一色の対象に対応点を指定し安定に弱校正を行うには、数ピクセル程度対応点を移動させて試行錯誤を行うか、8 点より多くの対

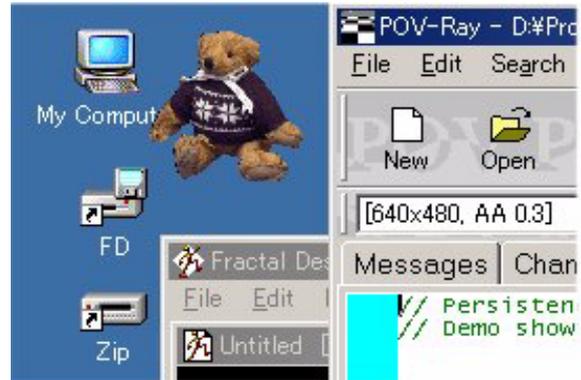


図 16: デスクトップアクセサリへの応用

応点を指定して統計的手法 [徐 98] により弱校正の安定度を増す。弱校正に対して、複雑なオクルージョンを有する画像の面を手作業で修正するには時間がかかる。修正する面は、図 13 のようなオクルージョンの少ない例ではタイヤ周辺の一部だけであるが、図 12 や図 14 では全面数の内、半数近くの面について頂点の移動、面の削除、描画順序変更などの修正が加えられている。このため、2 枚の画像の 1 組についてだけなら通常 30 分もかからず面を修正することができるが、全周囲を指定する場合には隣接する組との関係を考慮にいれなければならないため、全データを作成するのに半日から 1 日程度かかることもある。

7 おわりに

本論文では、実時間視点モーフィング技術を応用した Web2.5D の実証実験システムである電子カタログシステムにおけるデータ作成手法およびシステム概要について述べた。インターネットで転送する静止画像以外のデータ量は全周表示でも数十キロバイト程度であり、電話帯域でも十分実用的に利用できる。また、Web 利用者が使うビューアの処理は 3×3 行列の適用とテクスチャマッピングなのでマウス操作により実時間で内挿画像を生成できる。オフライン作業で用意する面のデータは、特徴抽出およびエピソード制約に基づいて自動生成でき、視点の差が大きくオクルージョンが生じる場合にはレイヤ

構造をサポートした専用エディタによってユーザが特徴点,面の向き,面の表示順序などを修正できる.本システムを利用して作成した仮想ショッピングモールドは www.nabla.co.jp/PhotoPopper.html で公開されている.

実用化に向けた今後の課題としては,手作業によるデータ修正を支援すること,すなわち自動対応点決定の安定性向上と,複数画像のエピポラ制約を用いた隠れた面の自動推定が必要である.

謝辞

本研究に関して貴重な助言をいただいた東京大学大学院総合文化研究科,山口泰助教授に感謝します.本研究は,放送・通信機構平成11年度先進技術型研究開発助成金,および一部は情報通信ブレイクスルー基礎研究21の支援を受けた.

参考文献

- [Beier 92] T.Beier and S.Neely, *Feature-based Image Metamorphosis*, Proc. SIGGRAPH92, pp.35-42, 1992.
- [Chen 93] S.E.Chen and L.Williams, *View Interpolation for Image Synthesis*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp.279-288, 1993.
- [Chen 95] S.E.Chen, *QuickTime VR — An Image-Based Approach to Virtual Environment Navigation*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp.29-38, 1995.
- [Debevec 96] P.E.Debevec, C.J.Taylor and J.Malik, *Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A Hybrid Geometry- and Image-based Approach*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp.11-20, 1996.
- [Fu98] C.Fu, T.Wong and P.Heng, *Triangle-based View Interpolation without Depth-buffering*, Journal of Graphics Tools, Vol.3, No.4, pp.13-31, 1998.
- [Gortler 96] S.J.Gortler, R.Grzeszczuk, R.Szeliski and M.F.Cohen, *Lumigraph*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp.43-54, 1996.

- [Hartley 97] R.I.Hartley, *In Defense of the Eight-point Algorithm*, IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.19, No.6, pp.580-593, 1997.
- [Levoy 96] M.Levoy and P.Hanrahan, *Light Field Rendering*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp.31-42, 1996.
- [Lischinski 94] D.Lischinski, *Incremental Delaunay Triangulation in Graphics Gems IV*, AP Professional, 1994.
- [Luong 93] Q.T.Luong, R.Deriche, O.Faugeras and T.Papadopoulos, *On Determining the Fundamental Matrix: Analysis of Different Methods and Experimental Results*, INRIA Report, No.1894, pp.1-28, 1993.
- [McMillan95] L.McMillan, *Computing Visibility without Depth*, UNC Technical Report TR95-047, Univ. North Carolina, 1995.
- [Rander97] P.Rander, P.J.Narayanan and T.Kanade, *Virtualized Reality: Constructing Time-Varying Virtual Worlds from Real Events*, Proc. IEEE Visualization'97, pp.277-283, 1997.
- [Seitz 96] S.M.Seitz and C.R.Dyer, *View Morphing*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp.21-30, 1996.
- [Steve 97] S.M.Steve and M.Brady, *SUSAN — A New Approach to Low Level Image Processing*, International Journal of Computer Vision, Vol.23, No.1, pp.45-78, 1997.
- [Szeliski 97] R.Szeliski and H.Y.Shum, *Creating Full View Panoramic Image Mosaics and Environment Maps*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pp.251-258, 1997.
- [Zhang 94] Z.Zhang, R.Deriche, O.Faugeras and Q.T. Luong, *A Robust Technique for Matching Two Uncalibrated Images Through the Recovery of the Unknown Epipolar Geometry*, INRIA Report, No.2273, pp.1-38, 1994.
- [佐藤 99] 佐藤淳, コンピュータビジョン — 視覚の幾何学 —, コロナ社, 1999.
- [徐 98] 徐剛, 辻三郎, 3次元ビジョン, 共立出版, 1998.
- [寺沢 01] 寺沢幹雄, 山口泰, 小高金次, Web2.5Dのための実時間視点モーフィング表示処理, Visual Computing / グラフィクスとCADシンポジウム論文集, pp.127-131, 2001.