【小特集　光学式3次元計測装置】

小特集　光学式3次元計測装置

ここ半年ほどの間に光学式の3次元計測装置がいくつか発表され注目を集めていますが、3眼カメラ式やレーザ計測など、一見似ているようでもそれぞれに特徴があります。ここでは日本で発売されているまたは発売の検討がなされている主な製品について技術的な紹介をするとともに、CMUの金出先生・斎藤先生から寄稿いただいたVirtualized Realityの論文を紹介します。

特別寄稿

Virtualized Reality：時間変化する3次元シーンのデジタル化

金出武雄・斎藤英雄

カーネギーメロン大学ロボット工学研究所

1．はじめに

最近、人間と機械のインタフェースに3次元画像認識技術を利用するという応用分野が拓けてきている。これは、人間が実際に生活している3次元空間の情報を取り込み、これをコンピュータなどを通じて人間にディスプレイすることにより、より自然な感覚で人間が情報を機械から受け取ることを可能にさせるものである。

我々のカーネギーメロン大学ロボット工学研究所では、動きのあるイベントの3次元情報をまるごとコンピュータに取りこみ、これを人間に表示することにより、人間に3次元空間そのものを表示しようという「Virtualized Reality (仮想化現実)」と名づけた研究(http://www.cs.cmu.edu/~virtualized-reality)を行っている。

写真や映画、テレビなどの今日の映像メディアでは、現実を映像化する際のシーンの見え方を決定する視点は、映像化する際に既に設定されており、映像を観察する際に視点を自由に設定することはできない。しかし、シーンの3次元情報をまるごとコンピュータに取りこめれば、コンピュータグラフィックス技術を利用することにより任意の視点を選択することができる。

我々が開発したシステムでは、多方向に取りつけたカメラにより対象シーンを撮影し、これらの多視点画像から対象の3次元形状の立体再構成を行う。そして、再構成された形状と入力多視点画像のテクスチャ情報を融合して、対象形状を3次元モデルとして表現し、この3次元モデルから任意視点画像を作り出すものである。図1に、Virtualized Realityのためのシステムの概要を示す。

2．Virtualized Realityに用いられている要素技術

2.1.3　次元仮想化スタジオ

現実のシーンを仮想化するためには、シーンをあらゆる方向から撮影した映像データを収集する。研究の初期段階では、直径約5メートルの半球体のドーム構造に51個のカメラを設置し、カメラの映像をVTRでアナログ記録する“3D Dome” (3次元ドーム)と名づけた設備を作った。最近になって、これをデジタル化し、さらにこのドーム構造を取り除いて一つの部屋の壁と天井にカメラを設置した、“3D Room”（3次元ルーム）を作成した。図2に示すように、部屋の4つの壁に各10個、そして天井に9個の合計49個のカメラを取り付けたものである。この3次元ルームでは、17台のパーソナルコンピュータを利用して、全てのカメラ映像をリアルタイムでデジタル化する。

このリアルタイムデジタル化システムでは、1台のＰＣに3枚のビデオディジタイザを搭載し、これらのビデオデジタイザに入力されるビデオ映像を640×480画素、30ｔレーム毎秒のカラー画像としてデジタル化し、これらのデ

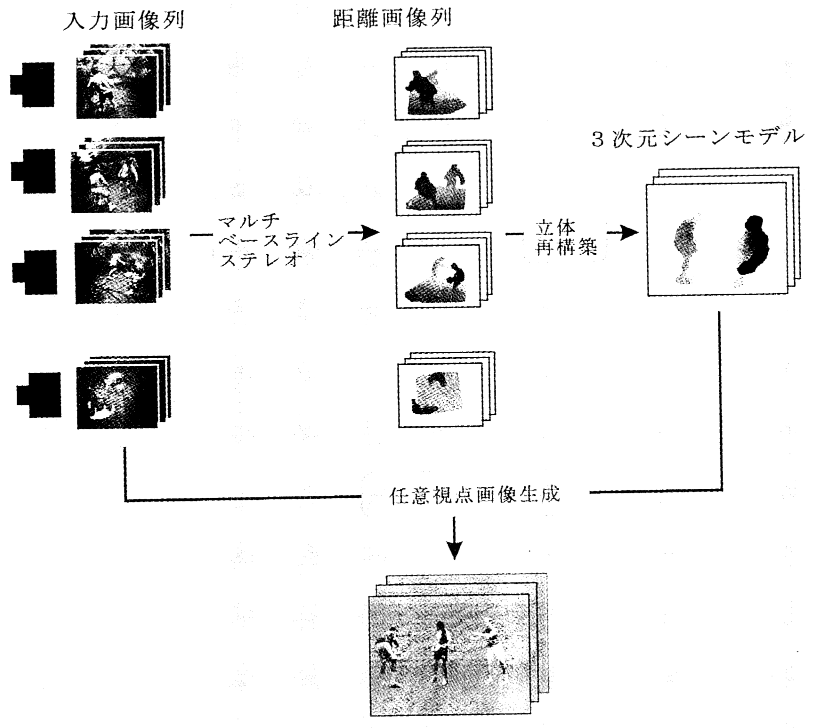


図1　バーチャライズド・リアリティの概要

ータがPCIバスを通してPCのメインメモリに転送される仕組みになっている。メインメモリの容量が許す限りのフレーム数のデジタル化がリアルタイムで行える。

各カメラは、共通の同期信号で同期が取られている B カメラからの映像信号にはタイムコード信号が挿入され、画像上端の通常は表示されない数本の走査線にタイムコード情報が記録される仕組みになっており、異なるカメラ間のフレーム番号の同定が容易に行えるようになっている。

2.2　カメラ・キャリブレーション

多数のカメラから3次元再構成を行う際には、各カメラの画像面と対象空間の投影幾何をあらかじめ知っておく必要がある。これを推定するのがカメラ・キャリブレーションである。我々のシステムでは、対象空間中に3次元位置が既知の輝点を複数配置し、これらの輝点を全てのカメラで撮影したデータから各カメラの投影幾何を表すカメラ・パラメータを推定する。

2.3　マルチベースラインステレオ

Virtualized Realityにおいて多視点画像から3次元再構成を行う際に基本となるのは、各カメラにおいてマルチベースラインステレオマッチングにより得られる距離画像である。ステレオマッチングは、異なる視点で撮影された画像間で、対象形状上で対応する点を画像のマッチングにより抽出し、三角測量の原理により対象までの距離を計算する。この対応付けを、一つのカメラの画像について複数個組み合わせることにより、対応点抽出を安定に行おうとするのがマルチベースラインステレオである。

2.5　距離画像からの立体再構築

各カメラにおいて得られた距離画像は、体積空間で融合されて物体表面が抽出される。この融合により、一つの距離画像においてミスマッチングにより発生した誤差が別の距離画像により軽減され、全体として誤差の少ない形状モデルを得ることができる。

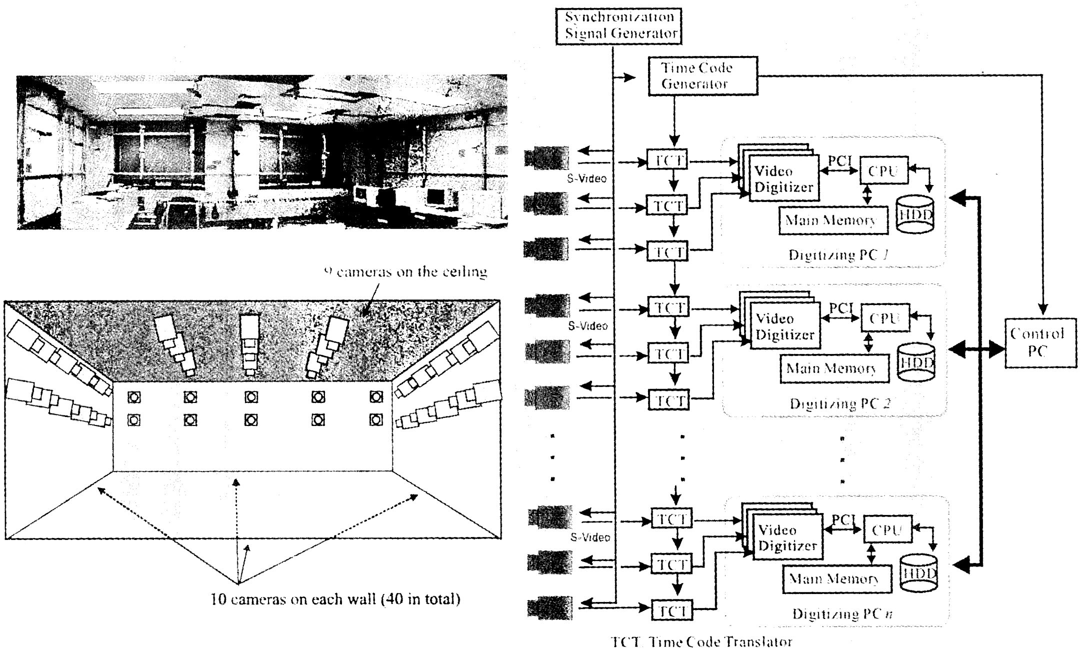
2.5　任意視点画像生成

生成された表面形状モデルは、3角形のメッシュの集合として表現される。前述のカメラ・キャリブレーションにより推定されたカメラ・パラメータを用いれば、各3角メッシュが各カメラの画像に投影される位置が計算できるので、この関係を利用して各3角メッシュ表面におけるテクスチャを入力画像から抽出し、マッピングする。このようにして入力画像をテクスチャマッピングした3次元モデルから、グラフィックワークステーションを用いて任意視点画像を生成することが可能になる。

図3は、テクスチャマッピングした3次元モデルを、一般の3次元モデルビューアで表示した例である。このようなビューアを利用して、任意に視点を選択しながら対象を観察することが可能になっている。

また、対象シーンの3次元形状が復元されているので、異なったシーンや仮想物体を3次元的に重ね合わせることも容易に行える。図4は、2つのシーンから復元された2種類の3次元モデルを3次元的に合成し、さらに仮想的な建物を重ね合わせて生成したものである。ここでは、一つのシーンから別のシーンへボールがパスされている。

ところで、入力画像のテクスチャが3次元モデルの3角メッシュにマッピングされる際には、入力画像の各画素を3角メッシュ上に再配置するために、画素値の補完が必要となる。さらに、任意視点の画像面に再投影される際に、更に3角メッシュ上のテクスチャの補完が行われることになる。これらの補完は、入力画像のテクスチャの画質を劣化させ、結果としてぼやけた任意視点画像になってしまうことがある。



(a) 3D Room のカメラ配置　　(b) リアルタイム・ディジタル化システムの構成

図2　3D Roomのカメラ配置とリアルタイム・デジタル化システムの構成

そこで、このような画素値の補完を最小限に抑え、入力画像の画質を失わないように任意視点の画像を合成する手法として、View Interpolationがある。図5は、再構成した3次元モデルから得られる2つのカメラの画像の対応関係を用いて、この2つのカメラの視点の中間の視点でView Interpolationにより生成した画像である。単純に2つの画像間で対応関係を推定して中間画像を生成した場合は、片方の画像ノしか見えない隠れ領域に対する中間画像の生成が不可能であるのに対して、再構成した3次元モデルから画像間の対応関係を求めて生成することにより、隠れ領域に対しても自然に中間画像の生成が行われている。

3．おわりに

Virtualized Realityは、従来、映像作成側にゆだねられていた視点位置の決定権を、映像の視聴者側に与えることの技術であり、テレビ放送や映画の新しい視聴形態となっていくと考えている。また、例えば外科手術を任意

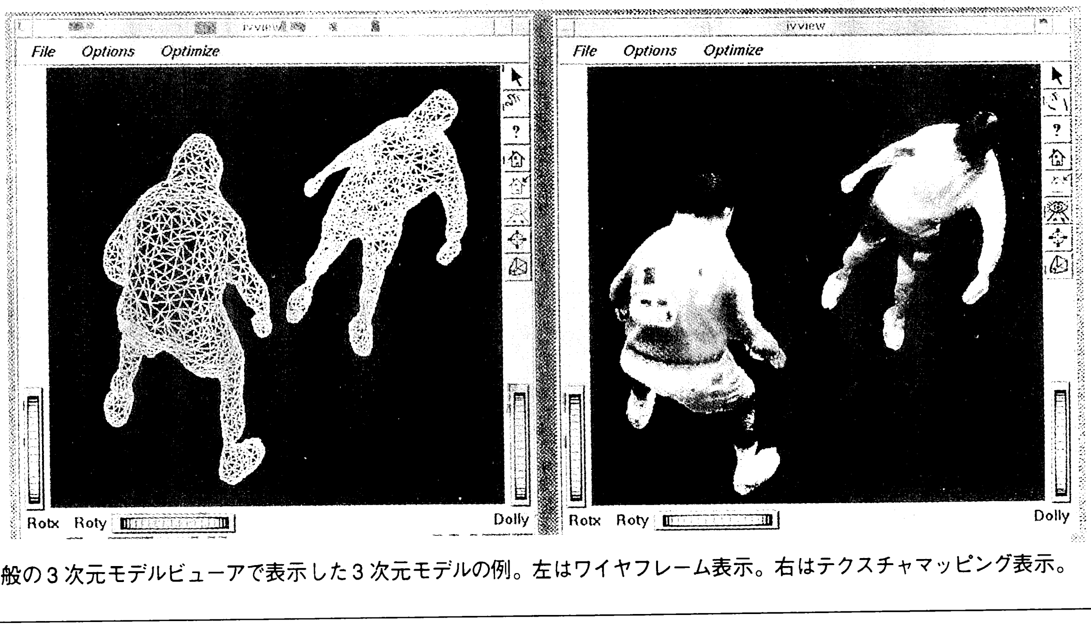


図3　一般の3次元モデルビューアで表示した3次元モデルの例。左はワイヤフレーム表示。右はテクスチャマッピング表示。

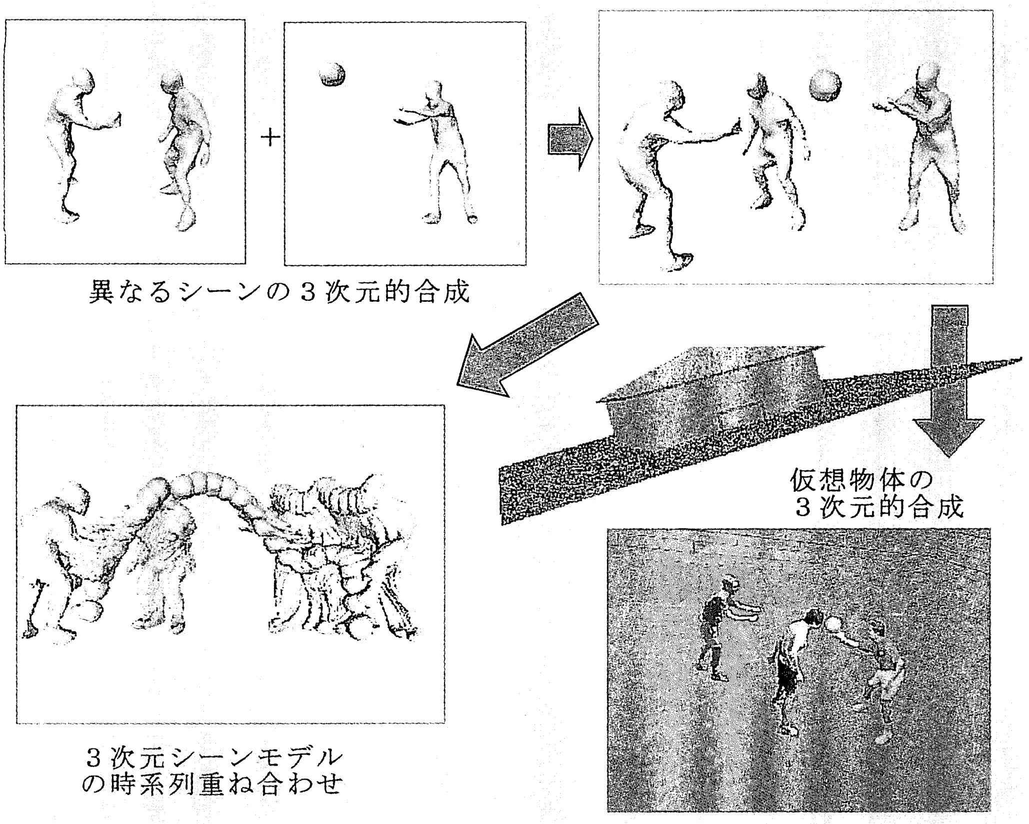


図4　2つのシーンから復元された2種類の3次元モデルを3次元的に合成し、さらに仮想的な建物を重ね合わせて生成した任意視点画像の例

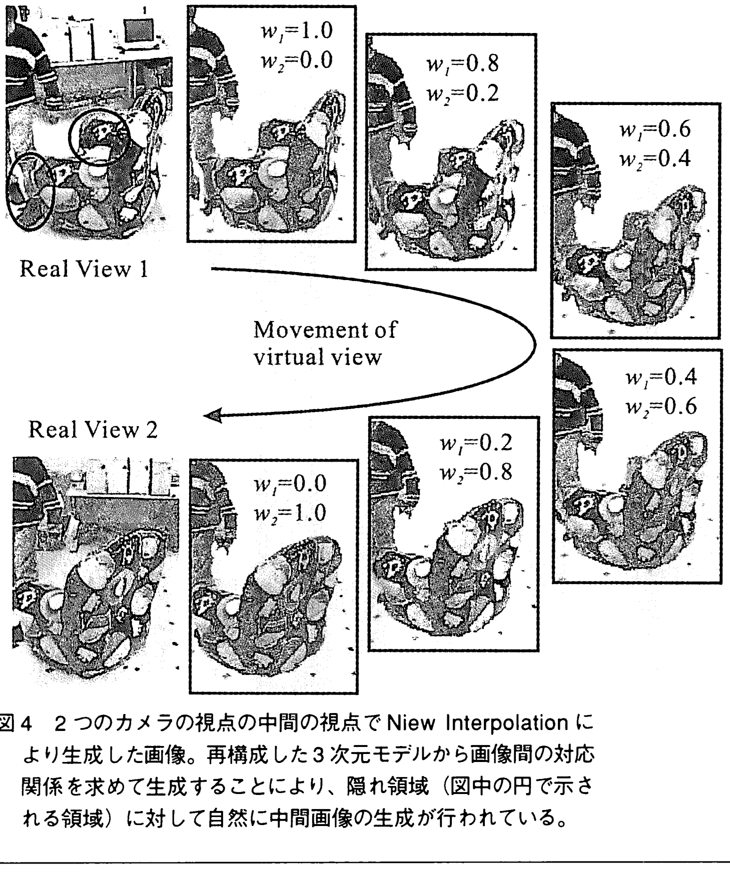


図4　2つのカメラの視点の中間の視点でNiew Interpolationにより生成した画像。再構成した3次元モデルから画像間の対応関係を求めて生成することにより、隠れ領域（図中の円で示される領域）に対して自然に中間画像の生成が行われている。

視点で再生することにより、医学生のトレーニングに適用したり、核施設のように人間が立入れないような場所に設置した多数のカメラの映像から、そこで作業する遠隔ロボットの操作をリアルな仮想環境でリハーサルしたりするといった応用も可能である。

さらに、仮想化された幾何学形状モデルを物体毎に分離し、物体の衝突や接触、摩擦といった力学的制約条件を与え、実世界の力学モデルを得ることができれば、映像の再生側での視点位置を決定できるだけでなく、仮想的に物体を動かしたりすることが可能になると考えられる。このように、Virtualized Realityで利用している3次元画像認識技術は、機械と人間のインタフェースをより充実させるために今後も更に応用されていくものと考えている。