

論文の内容の要旨

論文題目 Study on Construction Method of Augmented Reality Environment

(オーグメンティド・リアリティ環境構成法の研究)

氏名 董 国卿

1. はじめに

いわゆる視覚的バーチャルリアリティ (Virtual Reality: VR) あるいはバーチャル・リアリティ・プロトタイピング (VR Prototyping) システムにおいて、従来のバーチャル空間は主にコンピュータグラフィックス (CG) のプリミティブを組み上げている。このため、リアリスティックなモデルを作成するには特殊な技能と膨大な時間を必要とし、開発コストが高くなる。また、モデルの質感が低く、実空間との合成が困難である。VR のこのような問題点を克服する一つの方向性として、実空間の情報をバーチャル空間に取り込んでお互いに強調しようとするオーグメンティド・リアリティ (Augmented Reality: AR) が注目されている。特に、近年実空間の3次元レンジデータの測定手段が急速に普及し、数多くの計測用デバイスが開発されているため、AR システムにおける実物のバーチャル空間中での再現と合成は一つの手段として提供されている。

本論文では、AR 環境の構成法を研究している。まずは、実物の実写画像とレンジデータをコンピュータに取り込み、画像分割と NURBS 曲面の結合応用によるレンジデータの加工法を提案した。この方法によると、一つの実物からいろいろな形状が変化した、質感が高いモデルが作成できる。また、実空間とバーチャル空間の正しい遮蔽関係を実時間で提示するために、両空間の距離情報とカラー情報をすべてビデオ信号に変換して、ビデオ信号レベルでの合成法も提案した。

本研究で、実物の実写画像とレンジデータを獲得するため、レーザーレンジファインダー (ミノルタ製 VIVID700) を用いた。この装置を用いて同一視点から得られたカラー画像とレンジデータ (図1) の間に対応関係がある。これらのデータを用い、画像処理により特徴のレンジデータを抽出することができる。また、幾何形状データを三角メッシュで曲面を表現するため、Hoppe により提案された細

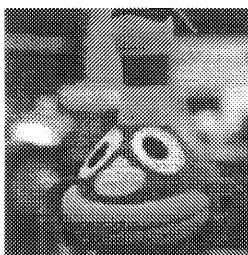


図1. 実物のカラー画像とレンジデータ

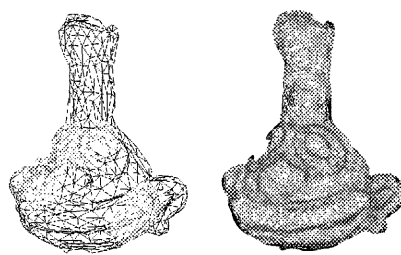
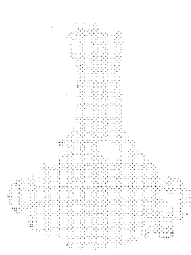


図2. Hoppe 法により復元したモデル

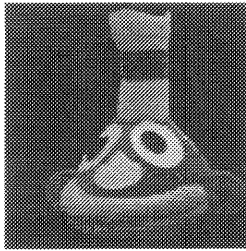


図3. 分離された実物のカラー画像

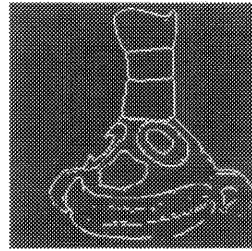


図4. 抽出した対象物のエッジ

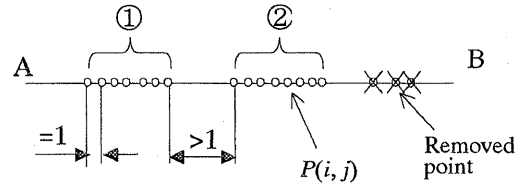


図5. 直線エッジ上の線分とノイズ

分割曲面の復元方法を利用した。

2. 画像分割によりレンジデータの抽出

実物のカラーデータ $C(i, j) = (R(i, j), G(i, j), B(i, j))$ とレンジデータ $R(i, j) = (X(i, j), Y(i, j), Z(i, j))$ (i, j はウインドウ座標) 間で一対一関係が成立すれば、カラー画像のエッジにより特徴領域のレンジデータが限定される。そこで、画像処理を容易に行うため、前処理として対象になる実物を Z 値に応じて背景から分離することを施した(図3)。カラー画像における特徴の境界線を抽出するため、二つの画像処理方法を利用した。

方法Ⅰ:

カラー画像の中にエッジ線が主に直線である場合に、画像はまずモノクロ濃淡画像 $I(i, j)$ に変換して、次のような1次微分演算により対象物の全体エッジを抽出する。

$$I_i = I(i+1, j) - I(i, j) \quad , \quad I_j = I(i, j+1) - I(i, j)$$

エッジ濃度は $\sqrt{I_i^2 + I_j^2}$ で計算する。抽出した対象物の全体エッジを図4に示している。さらに、Hough変換を用いて、エッジ画像からすべての直線を確定する。そして、直線ごとにピクセルの連結をチェックしており、繋いでいるピクセルを線分としてラベルを付ける。線分の長さ(ピクセル数)がある値より小さい場合、この線分がノイズとして削除する(図5)。従って、線分のラベル、長さまたは重心座標値によって線分が選択され、特徴範囲が囲まれる。

方法Ⅱ:

カラー画像における曲線エッジが多い、あるいはエッジの曲率が高い場合には、カラーヒストグラムを利用される。カラー要素 (R, G, B) 別にヒストグラム図と画像を作成し、相関係数 ρ も計算する。 ρ 値を最初の閾値 T として以下のように画像を分割する。

$$C(i, j) = \begin{cases} 255 & R > T_r, G > T_g, B > T_b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

目標の特徴領域が分割されない時、ヒストグラム図とカラー要素画像を参照しながら閾値を修正し、いわゆる試行錯誤法で閾値を決定する。しかし、分割された画像には目標領域以外に、余計な領域も含んでいる。これに対して、本手法では各領域にラベルを付けて、面積(ピクセル数)と重心座標値を計算しており、これらのパラメータに基づいて特徴範囲だけが確定される。そして、1次微分によるエッジが抽出される。

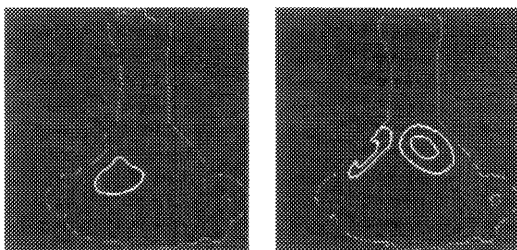


図6. 抽出された鼻と目のエッジ



図7. 抽出された鼻と目のレンジデータ

図6には抽出された鼻と目の画像エッジを示している。既にカラーデータとレンジデータの間に対応しているため、鼻と目のレンジデータを抽出することができる(図7)。

3. NURBS 曲面によりレンジデータの変更

実物のモデルにおける特徴レンジデータだけを変更させるために、NURBS 曲面を利用して特徴レンジデータを加工して、得られた NURBS 曲面データをそのデータに置きかえた。その理由は、NURBS 曲面が制御点によって定義される凸包に完全に含まれ、かつ制御端点を通るので、NURBS 曲面データとレンジデータが連結点で合わせられる、データのオーバーラップが避けられる。NURBS 曲面が数学公式で表現するため、形状分析と操作が容易で形状デザインに対して柔軟性がある。また、スムーズな曲面やプログラミングを容易に実現することなどが挙げられる。

NURBS 曲面は次の式で表される。

$$S(u,v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,k}(u)N_{j,l}(v)\omega_{ij}P_{ij}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,k}(u)N_{j,l}(v)\omega_{ij}}$$

$$N_{i,1} = \begin{cases} 1 & \text{if } t_i \leq u < t_{i+1} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$$N_{i,k}(u) = \frac{(u-t_i)N_{i,k-1}(u)}{t_{i+k-1}-t_i} + \frac{(t_{i+k}-u)N_{i+1,k-1}(v)}{t_{i+k}-t_{i+1}}$$

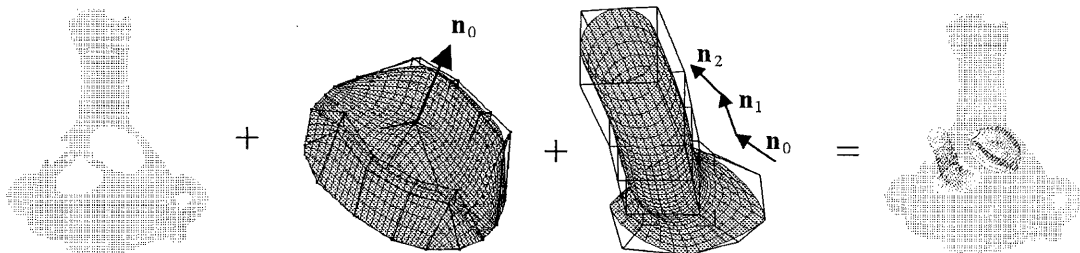
ここで、 $N_{i,k}(u), N_{j,l}(v)$ は B-スプライン基底関数である。パラメータの設定は次の通りに規定されている。

- 制御点 P_{ij} は特徴レンジデータの中で選択する。 u, v 両方の端点はデータの外側で取る。これによって、最初の制御ネットが構成される。
- 重み ω_{ij} が大きくなると、制御点に引き寄せられ、シャープコーナーが作られる。通常、重みが $\omega_{ij} = 1$ に設定している。
- 位数 k と l は 3 に設定した。
- ノットベクトル \mathbf{T} はノット点 t_i の並びで組み上げる。 t_i は次の式で計算する。但し、円弧を作成する際に、 $\mathbf{T} = \{0,0,0,1,1,2,2,3,3,4,4,4\}$ に設定している。

$$t_i = \begin{cases} 0 & i < k \\ i-k+1 & k \leq i \leq n \\ n-k+2 & i > n \end{cases}$$

制御ネットの設計には、まず次の式から特徴レンジデータで構成した曲面の単位法線ベクトル \mathbf{n}_0 を計算し、そして各制御点に与えられた方向と距離を \mathbf{n}_0 と加算する。

$$\mathbf{n}_0 = \frac{\sum_{i=1}^N (\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_0) \times (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_0)}{\left\| \sum_{i=1}^N (\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_0) \times (\mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_0) \right\|} \quad \mathbf{v}^i \in R^3$$



a.特徴を抜き出したレンジデータ b.目の NURBS 曲面 c.鼻の NURBS 曲面 d.合成したデータセット

図8. 残したレンジデータ、NURBS 曲面または合成したデータ

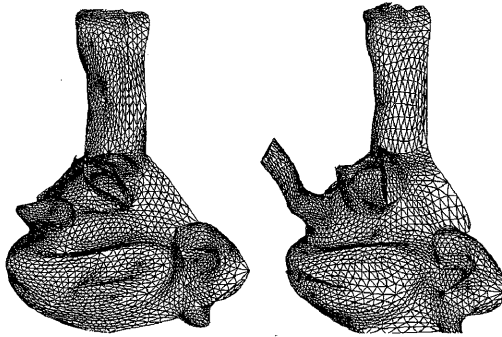


図9. 変形したモデル

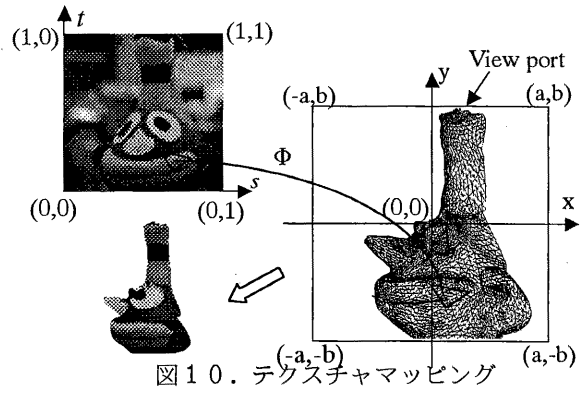


図10. テクスチャマッピング

ここで、 v^i は i 番目三角メッシュの三頂点である。最初の制御ネットは次の式によって移動して、望む形に設定することができる。但し、外側の制御点を変更しない。

$$P_{ij} = P_{ij}^0 + \sum_{p=0}^M s_p \cdot n_p$$

ここで、 n_p は制御点に与えられた移動方向で、 s_p はその方向で移動距離である。構成した制御ネットと生成した NURBS 曲面は図8の a、b に示している。図8はデータの生成と融合を示している。

また、一旦作成した NURBS 曲面は制御点と重みの修正により形状を変更することができる。従って、画像分割と NURBS 曲面の結合応用により、実物の特徴レンジデータの抽出と変更することができ、いろいろなモデルを作ることができる。新たなデータセットを分割曲面で復元したモデルの例を図9に示している。

変形したモデルにはもとのカラー画像をマッピングすれば、色付きモデルを作成できる。そのため、2次元テクスチャ座標 (s, t) から3次元ワールド座標 (x, y, z) への変換関数 ϕ は次のように定めた。

$$\phi: s = (x + \alpha \cdot a) / 2\alpha a, \quad t = (y + \beta \cdot b) / 2\beta b$$

ここで、 α と β はモデルの平行移動によって決まる係数である。

4. ビデオ信号による実空間とバーチャル空間の合成

ARシステムにおける、実時間で正しい遮蔽関係を有する空間合成方法は重要な課題である。本研究では従来の NTSC ビデオ信号を実バーチャル空間の合成に用いる。すなわち、実空間とバーチャル空間のカラー情報と距離情報は予めビデオ信号に変換しておいて、距離情報信号の比較よりカラー信号のどちらを提示するかを決める。この手段の利点としては、空間合成を物理的な NTSC 信号のレベルで行うため、合成過程そのものに起因するフレームレート低下や遅延が発生しない。すなわち、毎秒30フレーム、60フィールドでの実時間性能を単純なデバイスで実現できることが特色である。

また、電子回路によるビデオ信号レベルでの画像合成のため、以下の二点を満たすことが必要である。(1) 実空間

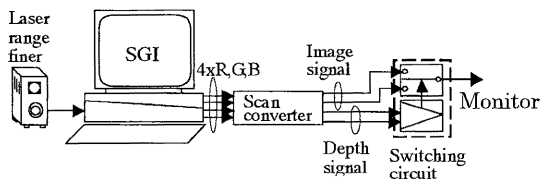


図11. 実験システム構成図

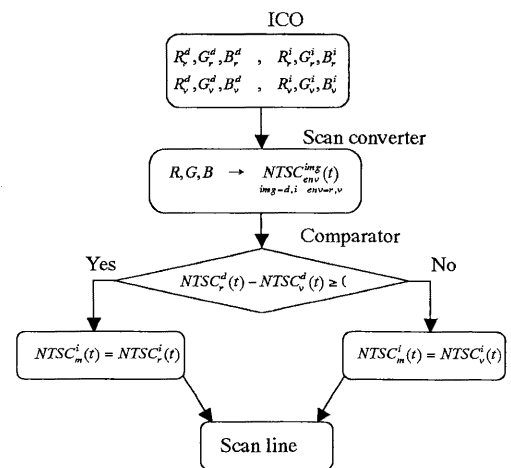


図12. ビデオスイッチングの流れ図

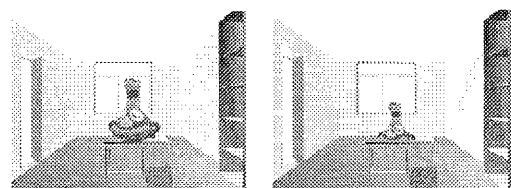


図13. 空間合成した結果

とバーチャル空間からのカラー画像信号と奥行き信号が同期していること。(2) 距離の比較を行うため、奥行き信号が同一レベルで生成されたものであること。すなわち、各空間の奥行き値をビデオ信号に変換する前に、キャリブレーションを行う必要がある。このため、本研究では図 1 1 のような実験システムを設けた。SGI ワークステーションには同時に 4 セットの R, G, B 信号を出力可能な ICO ボード (Indigo² IMPACT™ Channel Option) を装着しており、そこから出力される信号は 4 チャンネルの同期信号を多重化した NTSC タイミングの R, G, B 信号である。試作したスキャンコンバータとスイッチング回路は、まず 4 セットの R, G, B 信号を NTSC コンポジット信号に変換して、そして奥行き信号の比較により画像信号を切替える。このように合成した画像信号をモニタに提示する。信号のキャリブレーションのため、すべてのカラー画像を同じ視点位置で、同じビューイングボリューム中でレンダリングした。従って、Z-バッファ値から生成した距離画像は同一レベルのビデオ信号を発生する。

信号の合成は時間的にスキャンラインに沿って行う。その流れは図 1 2 に示している。実物の遠近位置による合成結果が図 1 3 に示している。実物がバーチャル物体の手前にあると完全に現れ、奥にあると隠れている。

5. 結論

本論文では、実物のカラーデータとレンジデータに着眼して、AR 環境構築ためのモデル生成と空間合成を研究した。モデルの生成と加工には画像分割と NURBS 曲面のアルゴリズムを合わせて利用した。空間の合成にはビデオ信号レベルで実現した。

カラーデータとレンジデータの対応関係を成立すれば、特徴領域のレンジデータを抽出するために、2 次元の画像処理は 3 次元の幾何分析より容易で、正確である。また、NURBS 曲面によりレンジデータの変更に至っては、数学的に形状の設計、データの制約ができる。融合した形状データは細分割曲面で復元することによって、ポリゴンの接続、シームの発生を避けることができる。

ビデオ信号で実空間とバーチャル空間合成の研究では、空間の距離情報に注目した。距離信号の比較により、画像信号を選択することで AR 環境における正しい遮蔽関係を得られる。また、NTSC 信号を利用しているため、実時間性を実現した。

本研究では、AR 環境の構築のため、主に実物を AR 環境中に再現するためのモデリングと加工、および実空間とバーチャル空間をビデオ信号レベルでの合成、という二つの新しい方法を提案した。実験により、これらの方法の実用性と有効性を証明し、AR 環境の構築に対して、有力な手段を提供した。