

1. はじめに

インテリアのリフォームやコーディネートなど、日常の居住空間のデザインは一般に関心の高いことであるが、専門的な知識や経験が必要とされ専門家にデザインを依頼されることが多い。そのため、デザインプランの提示は、専門家と顧客との間にある感性やアイデアのギャップを埋めるために重要な要素である。従来より、図面や手書きのパスを作成したり、カタログで商品を示すのが一般的なデザイン提示方法である。しかし、図面は顧客にとって直感的な表現ではなく、手書きのパスは作者の主観や作風が顧客に与える印象が大きい場合がある。その上、製図や作画には時間を要し、試行しながら逐次変更を加えることも困難である。

一方、CAD (Computer Aided Design) や CG (Computer Graphics) のソフトウェアを使って、製図や見取り図を起こし、計算機によるプレゼンテーションを利用する方法がある。3次元空間を可視化し、仮想的に任意の視点から眺める事が可能であり、データ操作により、照明や家具などのアイテムの選択や配置の試行も比較的容易となり、複合現実感 (MR : Mixed Reality) を利用する例もある^[1]。MR は、現実世界に人工的な仮想空間の情報を重畳させる技術である。重畳されたCGが現実世界の光源の影響を受けるという研究は既に存在するが、仮想の光源による現実世界の影響を表現する技術は確立されていない。

本研究ではMRを活用し、新たな照明を設置することによる影響を仮想的に可視化するための実時間映像化技術を提案する。

2. 提案手法

仮想光源による照光状態の変化を表現するためには、実環境の形状と材質の反射特性が分かれば可能である。そこで、形状は実時間で取得できるTOFカメラを利用する。材質特性はUSBカメラの実写映像から色情報を取得する。実環境の拡散反射や鏡面反射は取得した色情報から想定した反射率を使用している。形状モデルに色情報を付加させるために、また、実写映像との位置合わせのために事前にキャリブレーションを行う必要がある。

2.1. TOFカメラ (TOF : Time of Flight)

TOFとは、強度変調して発光された赤外線が対象物

体で反射して戻ってくるまでの時間を計測することで、物体までの距離を取得する。これにより、TOFカメラを原点とする対象空間の3次元座標を得ることができる。実環境の3Dモデルは得られた点群より、隣接する3点で簡易な三角メッシュを張り、起点となった点の色情報がそのメッシュの色となるようにしておく。

2.2. キャリブレーション (校正)

2.2.1. TOFカメラとUSBカメラのキャリブレーション

TOFカメラの3次元座標とそれに対応するUSBカメラ画像上の点の2次元座標を6組以上与えることにより、3次元空間上の点が2次元空間上にどのように投影されるかを示す射影行列を求めることができる。

3次元空間の点を (X, Y, Z) 、2次元画像上の点を (x, y) とすると

$$\begin{bmatrix} hx \\ hy \\ h \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

と、記述できる。式(1)より

$$C_{11}X + C_{12}Y + C_{13}Z + C_{14} - C_{31}Xx - C_{32}Yx - C_{33}Zx - C_{34}x = 0 \quad (2)$$

$$C_{21}X + C_{22}Y + C_{23}Z + C_{24} - C_{31}Xy - C_{32}Yy - C_{33}Zy - C_{34}y = 0 \quad (3)$$

という二つの式が成立する。したがって射影行列Cを求めるには同一平面上にない6個の基準となる点を用いればよい。一般的にはキャリブレーションの精度を高めるために、6個以上の基準点を用いて最小二乗法によりパラメータを求める。n個の基準点の3次元座標 (X_i, Y_i, Z_i) とそれに対応する画像座標 (x_i, y_i) が既知であれば、 $C_{34}=1$ と置くことにより、

$$\begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_1x_1 & -Y_1x_1 & -Z_1x_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -X_1y_1 & -Y_1y_1 & -Z_1y_1 \\ \vdots & \vdots \\ X_n & Y_n & Z_n & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -X_nx_n & -Y_nx_n & -Z_nx_n \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_n & Y_n & Z_n & 1 & -X_ny_n & -Y_ny_n & -Z_ny_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{11} \\ C_{12} \\ C_{13} \\ C_{14} \\ C_{21} \\ C_{22} \\ C_{23} \\ C_{24} \\ C_{31} \\ C_{32} \\ C_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ \vdots \\ x_n \\ y_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

となる。これを

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{C} = \mathbf{R} \quad (5)$$

と表せば、最小二乗法により、

$$\mathbf{C} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{R} \quad (6)$$

で求めることができる^[2]。

式(1)より

$$x = \frac{c_{11}X+c_{12}Y+c_{13}Z+c_{14}}{c_{31}X+c_{32}Y+c_{33}Z+c_{34}} \quad (7)$$

$$y = \frac{c_{21}X+c_{22}Y+c_{23}Z+c_{24}}{c_{31}X+c_{32}Y+c_{33}Z+c_{34}} \quad (8)$$

という二つの式が成立する．これより3次元座標の対応する2次元座標より色情報を得ることができる．

2.2.2. ユーザ空間と USB のキャリブレーション

ARToolKit^[3]などのようにマーカ上に座標系を設けて USB カメラ座標との対応を校正することにより，3D オブジェクトを容易にマーカと重畳させることができる．

2.3. 重畳手法

実環境のモデルを映像中に重畳させる方法としてマーカを用いる．表示させるオブジェクトの座標系はマーカの中心を原点としたマーカ座標系となっている（図1参照）．また，TOF カメラはカメラを原点とした座標系をとっている（図2参照）．

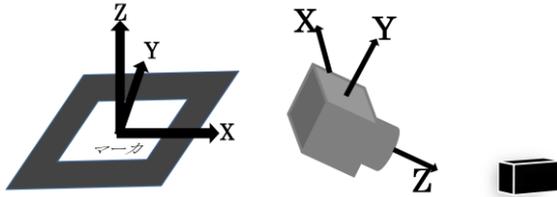


図1. マーカ座標系 図2. カメラ座標系

TOF カメラから見たマーカ座標系の X, Y, Z 各座標の基底ベクトル，マーカ中心座標はカメラ座標系をマーカ座標系に変換するための回転・並進行列である．TOF カメラから取得した点群にマーカ中心座標を引いたのち式(9)の計算をすることでマーカ上にTOFカメラ視点の形状情報を USB カメラ視点で表示できる．この時，マーカ座標と TOF カメラで扱う長さの単位（スケール）を揃えておく必要がある．

$$\begin{bmatrix} X_m \\ Y_m \\ Z_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} | & | & | \\ X_e & Y_e & Z_e \\ | & | & | \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} \quad (9)$$

ここで， $[X_m \ Y_m \ Z_m]^T$ はマーカ座標系， $[X_c \ Y_c \ Z_c]^T$ はカメラ座標系， X_e, Y_e, Z_e は各基底ベクトルを表す．

3. 実験

実験には TOF カメラとして SR4000 (176 x 144 画素) を用い，USB カメラには Logicool Webcam C200 (640 x 480 画素) を用いた．またマーカ座標と USB カメラの校正には ARToolKit^[3]のライブラリを用いた．

3.1. 処理の流れ

1. カメラ間の画素対応のキャリブレーション
2. 実環境の形状データの取得
3. キャリブレーションの結果から対応する点の色情報を取得

4. カラー CCD カメラの映像に実環境の 3D モデルを重畳させる．
5. 仮想の光源を設定することで照光状態の変化を表現する．

3.2. 使用する光源モデル

レンダリングには OpenGL による局所照明（ローカルイルミネーション）モデルを用いた．これは，サーフェスに直接入射してくる光のみを考慮してシェーディング処理を行う．

4. 結果と考察

図3 (a) のようなシーンを撮影対象とし，仮想の赤色スポットライト光を設定している．図3 (b) に重畳結果を示す．実環境の 3D モデルの位置合わせに多少のずれがある．これは，マーカ座標の取得時の誤差により \bar{X}_e と \bar{Y}_e が直交していないことが原因だと思われる．また，照光状態の変化は実環境の形状がうまく反映された変化を概ね再現できていることが確認できたが，ライティング結果が斑模様になっている．これはメッシュを張るときの点群が TOF カメラの計測値をそのまま利用しているため，TOF カメラの計測誤差や時間的な揺らぎにより各メッシュの法線にも誤差が生じ，不連続な表面となってしまっているためだと思われる．



(a)撮影対象 (b)重畳結果

図3. 赤色のスポット光を当てる

5. おわりに

本研究では，新たな照明を設置することによる影響を仮想的に可視化するための実時間映像化技術を提案した．より良いライティング結果を得るためには実環境モデルの材質特性の調節，滑らかな面の形状モデル作成方法が今後の課題である．

文 献

- [1] 安室 喜弘，石川 悠，井村 誠孝，南 広一，眞鍋 佳嗣，千原 國宏，“立体マーカを用いた実空間における仮想物体の調和的表現～インタラクティブ MR インテリアデザイン～”，情報映像メディア学会誌 vol.57,No10,pp.1307-1313,2003
- [2] 井口 征士，佐藤 宏介，“三次元画像計測”，昭晃堂(1990-11)
- [3] ARToolKit ; <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>