距離濃淡画像を用いたカラー画像の輝度補正

篠崎めぐみ[†] 梅田和昇^{††} ギー・ゴダン^{†††} マーク・リュウ^{†††}

† 中央大学大学院 理工学研究科 〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

†† 中央大学 理工学部 〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27

+++ カナダ国立研究所 情報技術部 視覚情報技術グループ

1200 Montreal Road, Ottawa, Ontario K1A 0R6, Canada

 $E\text{-mail: } \texttt{\dagger shinoza} @ \texttt{sensor.mech.chuo-u.ac.jp, } \texttt{\dagger} \texttt{tumeda} @ \texttt{mech.chuo-u.ac.jp, } \texttt{taueda} @ \texttt{t$

†††{Guy.Godin,Marc.Rioux}@nrc-cnrc.gc.ca

あらまし 距離濃淡画像を利用して,実物体の3Dモデルのテクスチャとして用いるカラー画像の輝度補正を行う手 法を提案する.制御された光源を用いた能動型距離画像センサにより取得される距離濃淡画像の特徴を利用すること で,カラー画像取得時の光源環境を推定することなく,カラー画像の輝度補正を行うことができる.カラー画像の輝 度補正実験により,本手法の有効性を検証し,正しい色情報をもった3Dモデルの生成を行った. キーワード 距離画像,カラー画像,距離濃淡画像,反射特性推定,3Dモデル,テクスチャマッピング

Correction of intensity of a color image using a range intensity image

Megumi SHINOZAKI[†], Kazunori UMEDA^{††}, Guy GODIN^{†††}, and Marc RIOUX^{†††}

† Graduate School of Science and Engineering, Chuo University 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

†† Faculty of Science and Engineering, Chuo University 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan ††† Visual Information Technology, Institute for Information Technology, National Research Council 1200 Montreal Road, Ottawa, Ontario K1A 0R6, Canada E-mail: †shinoza@sensor.mech.chuo-u.ac.jp, ††umeda@mech.chuo-u.ac.jp,

^{†††}{Guy.Godin,Marc.Rioux}@nrc-cnrc.gc.ca

Abstract This paper proposes a method of correcting intensity of a color image using a range intensity image. A range intensity image has an effective characteristic that it is obtained under controlled illumination environment. This characteristic enables correction of intensity of a color image without estimating illumination environment. Experiments show the effectiveness of this method and a 3D model with proper color information is created.

Key words range image, color image, range intensity image, estimating reflectance properties, **3D** model, texture mapping

1. はじめに

現在,コンピュータビジョンの分野では,実物体をモデリン グする試みが広く行われている.現実に存在する物体を観察す ることにより物体の 3D モデルを自動的に獲得するという本手 法は,従来のような手作業でのモデリングが不要であるという 点から非常に注目されている.中でも,距離画像など物体の 3 次元幾何形状を表すモデルの表面に,実写画像をテクスチャと して貼り付けるテクスチャマッピング[1]は,写実性の高い 3D モデルを迅速かつ容易に生成できるという利点をもつ.

テクスチャマッピングを行うには通常,物体の3次元形状を

表す距離画像とテクスチャとして用いるカラー画像との正確 なレジストレーションが必要となる.一般にこのレジストレー ションは,両画像から抽出した特徴点間の対応をマニュアルで 求め,両画像間の変換行列を算出することで行なわれていたが, 最近ではこれを自動化する試みもなされており,それらのうち いくつかは,距離画像取得時に同時に得られる計測点の濃淡値 からなる距離濃淡画像を効果的に用いることでこれを実現して いる[2][3].

しかし,このとき生成される 3D モデルの色情報は,物体本 来の色とは異なりカラー画像撮影時の照明の影響を受けたもの となっているため,レンダリングを行う際に正確な出力結果が 得られないという問題がある.これを解決するために,画像中 に観察された物体表面の明るさをもとに物体の反射特性や画像 撮影時の光源環境などの各パラメータを推定し,対象物の物体 色を忠実に再現するという研究が広く行われているが,これら の研究は色が単一または色の領域分割が可能で均質な物体に対 象が限定されたり[4][5],物体を回転させながら撮影した多数 の入力画像が必要であるなど[6][7],複雑な色やテクスチャを もつ物体を一般の照明環境下で任意の位置から撮影した一枚の カラー画像に対しては適用することができなかった.

本論文では,このようなカラー画像を対象とし,距離濃淡画 像を効果的に用いた新たな輝度補正手法を提案する.テクス チャとして用いるカラー画像の撮影時の光源環境が一般に未知 であるのに対し,距離濃淡画像は計測時の光源として用いる レーザ光の入射角や強度が制御されているため,これと既知の 3次元形状情報をもとに物体表面の反射特性を推定することで, その物体色を抽出することができる.そこで,正しい色情報を もつ 3D モデルの生成のために,まず距離濃淡画像の輝度補正 を行い,補正後の距離濃淡画像の輝度値にカラー画像の輝度を 従わせることでカラー画像の輝度補正を行う.本手法を用いる ことで,カラー画像撮影時の光源環境を全く考慮することなく, 正しい輝度値をもったカラー画像を得ることができる.

2. 輝度補正手法の概要

2.1 距離濃淡画像の特徴

能動型距離画像センサは測定対象へレーザ光などの照明を照 射し,その反射光を用いて三角測量の原理などにより距離を測 定している.このときの反射光強度からなる一種の濃淡画像の ことを距離濃淡画像(range intensity image)という.距離濃 淡画像は距離画像と同サンプリングの配列構造をとり,各測定 点における物体表面の反射率に関係した輝度値を表している.

図1に同一物体を観察したときの距離濃淡画像とカラー画像 の一例を示す.また,両画像の特徴の比較を表1に示す.一般 に,距離濃淡画像の輝度値が測定に用いる照明色に依存する単 一色の濃淡値であるのに対し,カラー画像はRGBの3チャン ネルからなる色情報をもっている.また,昨今のデジタルカメ ラ性能の向上により高解像度の安定した画像を容易に取得する ことが可能となっており,解像度やS/N比の点からもカラー 画像の方が距離濃淡画像より優れているといえる[8].しかし前 述のとおり,距離濃淡画像は非常に有用な特徴をもつ.距離濃 淡画像は計測に用いるレーザ光の入射角や強度が制御されてい るため,計測時の光源環境を既知ととらえ,これと既知の3次 元形状情報をもとに物体表面の反射特性を推定することで,そ の物体色の抽出が可能となる[9].この特徴を利用することで, 撮影時の光源環境が未知のカラー画像の輝度値を補正すること が可能になる.

2.2 輝度補正の流れ

輝度補正の流れを図2に示す.まず,規範となる距離濃淡画 像の輝度補正を行う.図1(b)に見られるように,観察される 画像は光源や面の傾きなどにより生じる陰影やハイライト成分 を含んでいるため,まずこれらを除去することで正しい輝度値



(a)Color image



(b)Range intensity image

- 2 1 Comparison of color and range intensity images
- 表 1 Comparison of color and range intensity images

	Color image	Range intensity image
Color	RGB	Intensity only
Resolution	High	Low
S/N ratio	High	Low
Illumination	Unknown	Controlled



☑ 2 Flow of color correction

を抽出する.次に,補正後の距離濃淡画像をカラー画像平面に 投影し,各対応点について両画像の輝度値の比を算出しこれを 距離濃淡画像の各点における補正係数とする.最後に,求めた 補正係数配列をもとに補間により算出したカラー画像各画素の 補正係数を元のカラー画像の各画素へ掛けることでカラー画像 の輝度補正を行う.

3. 距離濃淡画像の輝度補正

3.1 能動型距離画像センサのカメラ特性の考慮

能動型距離画像センサにより観測された距離濃淡画像は,センサ特性に由来する以下のような要因により,その輝度値に影響を受ける.

- センサと各測定点との距離
- 測定点における表面法線ベクトル方向
- センサに固有の特性

対象物体の表面を完全拡散面と仮定すると,計測点の輝度値は, 光源と計測点との距離 ! の二乗に反比例した値で観測される. また,物体表面の法線ベクトル N と光源ベクトル L とのなす 角を θ とすると,画像中の測定点で観測される輝度値は, cos θ に比例して低下する [10].

これらの要因を考慮すると,センサにより観測される輝度値 *I*obs は次式のように表現できる.

$$I_{obs} = \left\{ k_i(l) \frac{\cos\theta}{l^2} I \right\}^{\gamma} \tag{1}$$

ここで, γ はカメラのガンマ値であり, $k_i(l)$ はセンサ感度のば らつきを補正する関数である.これらセンサに固有の特性の補 正については, 5.2 で本論文で使用したセンサに特化して触れ ることにする.式(1)を I について解くことにより,これらの 影響を取り除いた輝度値 I が求められる.

3.2 鏡面反射成分の分離

物体表面での光の反射の仕方を数学的に記述したものに,2色 性反射モデル(dichromatic reflection model)[11] がある.こ れは反射光のスペクトル成分に注目して,物体からの反射光が 拡散反射(diffuse reflection)と鏡面反射(specular reflection) の2つの反射成分の組み合わせで記述できることを仮定してい る.拡散反射は,物体表面に入射した光が物体内部で多重に反 射したのち外部に放射されるものであり,物体内部の着色層で の多重反射が起こるために物体固有の色がつき,反射の方向は 広範囲に及ぶ.鏡面反射は,物体表面での直接反射によるもの であり,理想的な鏡面では,入射した光は一方向だけに反射す る.しかし,実際の物体表面は完全な鏡面ではなく微細な凹凸 があるため,鏡面反射は一定の広がりをもつ.画像中のハイラ イトはこのような鏡面反射によって生じる.

本論文では,この鏡面反射の分離にあたって,代表的な2色 性反射モデルのひとつである Torrance-Sparrow モデル[12]を 適用する.図3に Torrance-Sparrow モデルの概念図を示す. ここで,Lは光源方向ベクトル,Vは視線方向ベクトルであり, HはLとVの二等分ベクトルである.また,面法線ベクトル NとHのなす角をαとする.

Torrance-Sparrow モデルの鏡面反射成分 R は,次式のよう に記述される.

$$R(N, V, L, \eta, \lambda) = \frac{F(N, L, \eta, \lambda)P(\alpha)G(N, V, L)}{(N \cdot V)}$$
(2)

ここで, F はフレネル反射率と呼ばれる関数で, 微小面の分光 反射率を表す. F は入射角と, 物体固有の屈折率と吸収係数と



🛛 3 Torrance-Sparrow model

に依存する関数になる.

Pは,物体表面を構成する微小面の分布を正規確率分布と見なしたときの関数であり,次式のように記述される.

$$P(\alpha) = b \exp(-\alpha^2 / 2\sigma^2) \tag{3}$$

ここで,bは定数, σ は物体表面の粗さを示す関数である.

G は,隣接する微小面どうしが互いにマスクしあうことによる減衰関数である.入射光に対する反射光は入射角や反射角に依存し,具体的には次式のように記述される.

$$G(N, V, L) = \min\left\{1, \frac{2(N \cdot H)(N \cdot V)}{(V \cdot H)}, \frac{2(N \cdot H)(N \cdot L)}{(V \cdot H)}\right\}$$
(4)

Torrance-Sparrow モデルは金属をはじめ様々な材質の物体 に適用できることが知られているが,上記の式を直接用いるに はパラメータの数が多く,これらを取得または推定するために 様々な測定等を行う必要がある.本論文では,これらの測定を 想定せず,一枚の距離濃淡画像に適用させるため,以下の仮定 を設け,モデル式を簡単化する措置をとった.まず,フレネル 反射率を定数とし,さらに表面どうしの遮蔽における光の減衰 は起こらないものとする.また,反射光における鏡面反射成分 の割合は反射光強度によらず,常に一定であるとする.これら の仮定を用いると,最終的に Torrance-Sparrow モデル式は次 式のように簡単化される.

$$I = I_d \left\{ 1 + k \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\sigma^2}\right) \right\}$$
(5)

ここで, I_d は拡散反射成分, k は鏡面反射成分の割合を表す定数, σ は物体表面の粗さを示す. $k \ge \sigma$ を求めることができれば, 鏡面反射成分を取り除いた拡散反射成分 I_d のみを抽出することができる.

4. カラー画像への反映

4.1 距離濃淡画像とカラー画像のレジストレーション

3. で行った距離濃淡画像の補正結果をカラー画像へ反映させ るには,まず両画像のレジストレーションを行い,カラー画像 平面へ投影された距離濃淡画像の各点とカラー画像との対応を 得る必要がある.距離濃淡画像とカラー画像とのレジストレー ションは,距離濃淡画像を記述している座標系での,カラー画 像を取得したカメラの内部パラメータと外部パラメータを求め



☑ 4 Flow of registration

ることに相当する.これらのパラメータを得るために,本論文 では梅田らのレジストレーション手法[3]を適用する.これはカ ラー画像平面に投影された距離濃淡画像とカラー画像とで重複 する領域内で近似的に満たされる,オプティカルフローの拘束 を利用した反復演算により各パラメータを算出するものである.

図4にレジストレーション処理の流れを示す.まずカメラパ ラメータの初期値を与え,これを用いて距離濃淡画像をカラー 画像平面に投影し,投影された画像をカラー画像と比較し,両 画像の一致が十分でなければ,勾配拘束に基づいた定式を用い てカメラパラメータを修正する.このとき,カラー画像は通常 RGB の3 チャンネルからなるので,レジストレーションには 距離画像センサの光源の色に最も近いチャンネルの画像を利用 する.

4.2 輝度補正係数の算出(1)

投影後の距離濃淡画像を投影画像と呼び,投影画像のカラー 画像平面上の各測定点を対応点と呼ぶこととする.図5に投影 画像とカラー画像の各点の位置関係を示す.図5に見られるよ うに,一般に対応点の座標値は整数値にならず,カラー画像の 画素とは一致しないため,これに対応するカラー画像の輝度値 はその周辺に存在するデータから共一次内挿法により算出する.

次に,各対応点について投影画像の輝度値 I_{ri} と内挿処理に より求めたカラー画像の輝度値 I_c の比 $c = I_{ri}/I_c$ を計算し, これを距離濃淡画像の各点における輝度補正係数とする.

4.3 輝度補正係数の算出(2)

4.2 で求めた輝度補正係数は投影画像の各対応点についての ものであり,その個数は距離濃淡画像の点数に等しい.しかし, 図5に示すように一般に距離濃淡画像の解像度はカラー画像の 解像度より低いため,4.2 で求めた補正係数をもとに,カラー 画像の各画素に対する補正係数を新たに算出する必要がある.

本論文では,もとの補正係数点列に適当な曲面をあてはめる ことによって,その間のデータを補間するという手法を選択す る.あるパラメータ空間を用いて形状を制御する曲面のことを パラメトリック曲面という.パラメトリック曲面はコンピュー タグラフィックスの分野で一般的に用いられているポリゴンモ デリングとは異なり,曲面を構成する点の座標値をある変数の



Color image $I_c(u, v)$ Range intensity image $I_{ri}(u_{ri}, v_{ri})$

🛛 5 Projection of a range intensity image on a color image

関数として表現するため,数学的に滑らかな曲線を生成することができる.本論文では,パラメトリック曲面のひとつである B スプライン曲面を用いる.

非有理の B スプライン曲面は, $n_u \times n_v$ 個の格子状に与えられたコントロールポイント列を, (u,v) 両方向に B スプライン 基底関数を用いて混ぜ合わせるにことにより定義される.

曲面の(u, v)各方向の階数を m_u, m_v , コントロールポイントの数を $\mathbf{q}_{ij}((x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})i = 0, \cdots, n_u - 1, j = 0, \cdots, n_v - 1)$ とすると, 曲面は次式のように表現できる[13].

$$\mathbf{P}(u,v) = \sum_{i=0}^{n_u-1} \sum_{j=0}^{n_v-1} N_{i,m_u}(u) N_{j,m_v}(v) \mathbf{q}_{ij}$$
(6)

このときの $N_{i,m_u}(u)$, $N_{j,m_v}(v)$ がそれぞれ (u, v) 方向の B ス プライン基底関数と呼ばれる混ぜ合わせ関数である.

B スプライン基底関数の計算方法にはいくつかあるが,以下 に示す de Boor Cox の漸化式によるものが,計算機上での実 装に適した方法として知られている.

$$N_{i,1}(u) = \begin{cases} 1 & u_i \leq u < u_{i+1} \\ 0 & u < u_i, u_{i+1} \leq u \end{cases}$$

$$N_{i,m_u}(u) = \frac{u - u_i}{u_{i+m_u} - u_i} N_{i,m_u - 1}(u) \\ + \frac{u_{i+m_u} - u}{u_{i+m_u} - u_{i+1}} N_{i+1,m_u - 1}(u) \end{cases}$$

$$N_{j,1}(v) = \begin{cases} 1 & v_j \leq v < v_{j+1} \\ 0 & v < v_j, v_{j+1} \leq v \end{cases}$$

$$N_{j,m_v}(v) = \frac{v - v_j}{v_{j+m_v} - v_j} N_{j,m_v - 1}(v) \\ + \frac{v_{j+m_v} - v}{v_{j+m_v} - v_{j+1}} N_{j+1,m_v - 1}(v) \end{cases}$$
(7)

ここで, u_i, v_j はそれぞれノットベクトルと呼ばれる単調増加の 数列 U= $[u_0, u_1, \dots, u_{m_u+n_u+1}]$, V= $[v_0, v_1, \dots, v_{m_v+n_v+1}]$ の要素である.曲面の(u, v)各方向のノットベクトルが用意で きれば,i, j番目のコントロールポイントに対応する m_u, m_v 階の B スプライン基底関数 $N_{i,m_u}(u), N_{j,m_v}(v)$ は式(7)を用 いて算出することができる.このとき用いられるノットベクト



🗵 6 ShapeGrabber range sensor with a target object

ルは, B スプライン曲面の各 (*u*, *v*) 方向のパラメータ定義域を 規定する数列で, (*u*, *v*) 各方向に1 組の計2 組が必要となる. ノットベクトルは,単調増加(隣接するノットが等しい場合も 可)であること(階数+コントロールポイント数)個のノット で構成されていることを満足していれば,その値は基本的に自 由に設定することができる.

また, k 階 (k-1次)の B スプライン曲線に対して,曲線 上の点は k 個の隣接するコントロールポイント頂点の凸包の内 部に存在するという特性がある[14].このことにより,階数の 増加は曲線をなめらかにする効果を持つ.階数の最大値は与え るコントロールポイントの個数と等しい値であり,このとき生 成される曲線は Bezier 曲線と等しいものとなる.

図5における画像平面の高さ方向に補正係数値 cをとった3 次元空間を定義し,空間上の補正係数データ点列に対してBス プライン曲面を適用し,データ点間の値を補間することで,カ ラー画像の各画素における補正係数を算出する.このとき,B スプライン曲面の定義には数の整った格子状データを与える必 要があるが,取得される距離濃淡画像の各測定点は必ずしもこ の形式をとらないため,データ点列を格子状の小領域へ分割し, 対象物の周辺部など格子状のデータ形式をとらない部分を除い た領域にのみ補間処理を適用することにする.

5. 実 験

5.1 距離画像センサシステム

距離濃淡画像の取得には ShapeGrabber 製のセンサ PLM300 にセンサヘッド SG-100 を搭載したシステムを用いた.図6に 本システムを用いた測定風景を示す.本センサシステムは1280 点の測定点をもつレーザスリット光を照射するプロジェクタと CCD カメラからなり,対象物体へ照射されたレーザスリット 光を CCD カメラでとらえ,三角測量の原理を用いて距離を計 測している.図7にセンサの幾何配置を示す.

5.2 センサ特性の補正

3.1 で述べた輝度補正手法を実装するにあたり行った処理に ついて以下に示す.

まず,式 (1) における γ の値が 1 でないことが実験的に明ら かになった.これは CCD カメラの入出力の関係が線形でない



🛛 7 Configuration of the ShapeGrabber range sensor

ことを示している.そこで推定ガンマ値を 0.45 と定め,この 関係が線形となるように補正を行った [8].

また,図8(a)は,傾斜した平面を観察した7枚の距離濃淡画 像を並列に配置したものである.画像左方向へ傾斜が大きくな るにつれて輝度値が低下していることが確認できるが,縦方向 にも輝度値の変化が見られ,計測点の感度にばらつきがあるこ とがわかる.これは照射されるレーザスリット光の不均一性や CCDカメラの周辺減光によるものと考えられる.そこでレー ザスリット光の1280の測定点それぞれに2次関数をあてはめ, このばらつきを補正する措置を行った.図8(b)は,その補正 が有効に働いていることを示している.

また,図7に見られるプロジェクタのレンズ中心とCCDカメ ラのレンズ中心の位置関係から,式(1)の l^2 を $l_p l_c$ とした.さ らに実験より,距離濃淡画像の輝度値が $\cos \theta_p$ ではなく $\cos \theta_c$ に比例することが確認された(図9).これは,センサが輝度 値を取得する際のアルゴリズムによるものであると推察され、 次のような仮説を設けた.通常,物体表面の放射強度は光源べ クトルと表面法線ベクトルのなす角の余弦 $\cos \theta_n$ に比例すると されているが,本センサを構成しているプロジェクタと CCD カメラの位置関係により,実際に観察されるスリット光の幅は $\cos \theta_c / \cos \theta_n$ に比例する.本センサはこのスリット光のピーク 値ではなく幅全体の積分値を輝度値と取得するため,これらの 要素が合わさり結果として $\cos \theta_c$ のみが残る.この仮説の妥当 性は,図10および図11から確認される.それぞれ垂直方向と 水平方向の2つの姿勢の円柱物体を観察した入力画像が(a)で あり,これらに上述の仮説に基づいた補正を行った結果が(b) である.これを見ると,面の傾きによる陰影が除去され,円柱 物体の濃淡値が平坦に補正されていることがわかる.

以上の処理を適用することにより,最終的に式(1)は次のように書き換えられる.

$$I_{obs} = \left\{ k_i(l_c) \frac{\cos \theta_c}{l_p l_c} I \right\}^{\gamma}$$
(8)

$$k_i(l_c) = a_i l_c^2 + b_i l_c + c_i (9)$$

ここで, $\gamma = 0.45$ であり, $k_i(l_c)$ はセンサ感度のばらつきを 表す 2 次関数である.



(a)Original image (with gamma correction)



(b)Compensated image8 Compensation of each sensor element



 $\boxtimes 9$ $\,$ Important angle for the ShapeGrabber range sensor

5.3 輝度補正実験結果

距離濃淡画像の補正結果を反映させるカラー画像は,ニコン 製のデジタルカメラ COOLPIX5000 を用い, RAW 形式で画 素数 2560 × 1920 で取得した.

図 12(a) は, 寸法 148 × 69 × h110[mm³] の模型を測定した ときの入力の距離濃淡画像である.このときの画素数は 312730 である.これに式(8)の補正を行った結果が図 12(c)である. このとき,図 12(c)の対象の頭部や腹部においてデータの欠損 が見られるのは,式(8)に当てはまらない表面法線の傾きが 大きい部分の領域を除外したことによる.図 12(c)を見ると, 鏡面反射成分の存在する部分を除いて,陰影の除去された,一 様な濃淡分布をもつ画像が得られていることがわかる.







(a)Original image



(b)Compensated image



図 12(c) に式 (5) を適用し鏡面反射成分を分離した結果が図 13 である.このとき,反射特性を表す各パラメータの推定値は 実験的に求め,それぞれ k = 0.4, σ = 0.06 と決定した.用い たモデル式は仮定を多く含んだ簡易的なものであったが,比較 的良好な分離結果が得られていることがわかる.

距離濃淡画像の輝度補正結果をもとに 4. の手法を用いてカ ラー画像の輝度補正を行った結果を図 14 に示す.図 14(a) が 用いた入力画像であり,これに図 13(a)を用いて輝度を補正し た結果画像が図 14(b)である.このとき,投影画像を 12 × 12 の小領域に分割し,各領域内において,孤立したデータ欠損部 については周囲のデータから平均値を算出し補った上で,デー タ欠損のない領域にのみ補間処理を行った.コントロールポイ ント列は 4.2 で求めた補正係数配列とし,階数は (u, v)両方 向に分割領域内で最大である $m_u = m_v = 12$ を与え曲面を生 成した.カラー画像各点の (u, v)座標値に位置する曲面上の点 を補正係数とすることで,カラー画像各画素の補正係数を取得 した.図 14(b)を見ると,図 14(a)に見られる画像撮影時の照 明環境による陰影やハイライト成分が取り除かれ,その輝度が 良好に補正されていることが確認される.また,曲面補間の効 果を示すために,曲面補間を施した結果と,曲面補間を行わず



(a)Original image



(b)Correction of gamma and sensitivity



(c)Correction of distance and normal vector☑ 12 Correction of range intensity image

4.2 で求めた補正係数配列をもとに線形に補間を行った結果に ついて,対象物胸部の一部の拡大画像を図15 に示す.図15(a) が折れ線状に分布した補正係数配列をもとに近似を行っている ため画質が粗いのに対し,図15(b)では画質がなめらかに改善 されていることがわかり,曲面補間の効果が確認できる.

また,輝度補正結果のカラー画像をテクスチャデータとし て距離画像ヘテクスチャマッピングし,輝度補正後の色情報を もった 3D モデルの生成を行った.図 16 に視点位置を移動さ せたモデルを示す.

6. おわりに

距離濃淡画像を利用したカラー画像の輝度補正を行った.距 離濃淡画像にセンサ特性の補正や鏡面反射成分の分離処理を施 し,補正後の輝度値をカラー画像へ反映させることでカラー画



(a)Final result with removal of specular component



(b)Removed specular componentI3 Removal of specular component

像の輝度値の補正を行った.光源環境が既知である距離濃淡画 像の特性を利用することにより,カラー画像取得時の光源環境 を推定することなく,その輝度値を補正できることを実験によ り示し,輝度補正後の色情報をもつ3Dモデルの生成を行った. 今後の課題として,鏡面反射分離手法のさらなる改善,補正

結果の定量的評価,係数値補間手法の検討などが挙げられる.

謝 辞

本研究の一部は,科学研究費補助金・若手研究(B)16700191 の補助により行われた.

文 献

- J. F. Blinn and M. E. Newell: "Texture and reflection in computer generated images", Communications of the ACM, vol. 19, no. 10, pp. 542-547, October 1976.
- [2] R. Kurazume, K. Nishino, Z. Zhang and K. Ikeuchi: "Simultaneous 2D images and 3D geometric model registration for texture mapping utilizing reflectance attribute", Proc. of Fifth ACCV, pp. 99-106, January 2002.
- [3] 梅田和昇,ギー・ゴダン,マーク・リュウ: "勾配拘束と距離濃淡画像を用いた距離画像とカラー画像のレジストレーション", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2004)論文集,1,pp. 27-32, July 2004.
- [4] S. Tominaga and N. Tanaka: "Estimating reflection parameters from a single color image", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 20, No. 15, pp. 58-66, September/October 2000.
- [5] 原健二,西野恒,池内克史: "透視投影と点光源下の鏡面反射からの光源位置と反射特性の推定",情報処理学会論文誌:コンピュータビジョンとイメージメディア,Vol.43,No. SIG 11(CVIM 5), pp. 121–129, December 2002.



(a)Original image



(b)Final result with color correction☑ 14 Correction of color image

- [6] Y. Sato, M. D. Wheeler and K. Ikeuchi: "Object shape and reflectance modeling from observation", Proc. ACM SIG-GRAPH '97, pp. 379-387, 1997.
- [7] 町田貴史,竹村治雄,横矢直和:"複数の照明条件の組み合わせによる物体の表面反射特性の密な推定",電子情報通信学会論文誌, Vol. J84-D, No. 8, August 2001.
- [8] K. Umeda, M. Shinozaki, G. Godin and M. Rioux: "Correction of color information of a 3D model using range intensity image", Proc. Fifth 3DIM, 2005.
- [9] 佐藤洋一,向川康博: "インバースレンダリング",情報処理学会研 究報告 コンピュータビジョンとイメージメディア No.2004-145-9, September 2004.
- [10] 画像処理標準テキストブック編集委員会:"イメージプロセッシング < 画像処理標準テキストブック > ", 画像情報教育振興協会, 1997.
- [11] S. A. Shafer: "Using color to separate reflection compornents", Color Research and Application, Vol. 10, pp. 210-218, 1985.
- [12] K. E. Torrance and E. M. Sparrow: "Theory of off-specular reflection from roughened surfaces", J. Opt. Soc. Amer., 57, pp.1105-1114, 1967.
- [13] L. Piegl:"On NURBS: A Survey", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 11, No. 1, pp. 55–71, January 1991.
- [14] D. F. Rogers, J. A. Adams 著, 凸版印刷株式会社総合研究所 画像情報センター訳: "コンピュータグラフィックス第2版",日 刊工業新聞社, 1993.



(a) with linear interpolation



(b)with spline B-spline surface interpolation2 15 Effect of B-spline surface interpolation



🛛 16 Rotated model