社団法人　電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

信学技報
TECHNICAL REPORT OF IEICE.

複数人物に対する照明の動的制御

新宮　　淳†　　亀田　能成††　　西口　敏司†††　　美濃　導彦††

† 京都大学大学院情報学研究科
〒 606-8501 京都市左京区吉田二本松町
†† 京都大学学術情報メディアセンター
〒 606-8501 京都市左京区吉田二本松町
††† 京都大学大学院法学研究科
〒 606-8501 京都市左京区吉田本町

E-mail: †{shingu,kameda,nishigu,minoh}@mm.media.kyoto-u.ac.jp

あらまし　移動する複数の人物の映像を撮影する際、各々の人物の画像輝度を適切な明るさにして撮影し続けることが求められる。本稿では、複数の光量制御可能な照明を用い、人物の位置に応じてリアルタイムに照明制御を行う。照明制御を行うために、まず各照明の光量が、ある位置にいる人物に与える影響を測定する。これらを事前に測定しておき、撮影時には、それぞれの人物の画像輝度が目標とする明るさになるような照明の光量を計算し、これに基づいて動的に制御する。本手法を実装し、複数人物の位置に応じてカメラの露出と照明の光量を制御した結果により、各々人物の画像輝度を目標とする明るさに制御することができることを示した。

キーワード　照明制御, 画像輝度、情景放射輝度、カメラの露出、シンプレックス法

Active Lighting Control Method for Multiple People

Jun SHINGU†, Yoshinari KAMEDA††, Satoshi NISHIGUCHI†††, and Michihiko MINOH††

† Graduate School of Informatics, Kyoto University
Yoshida Nihonmatsucho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501 Japan
†† Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University
Yoshida Nihonmatsucho, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501
††† Graduate School of Law, Kyoto University
Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501 Japan

E-mail: †{shingu,kameda,nishigu,minoh}@mm.media.kyoto-u.ac.jp

Abstract　The image brightness of every person in a scene should be appropriate in taking video images. In this paper, we propose an active lighting control method. A lighting system always controls the intensity of lights in order to keep the image regions of each person at appropriate brightness. We model the relationship between the intensity of lights and the brightness of the people, and show that the parameters of the model can be obtained in advance. Using this model and the parameters, the intensity of the lights can be calculated fast and accurately.

Key words　Lighting Control, Image Brightness, Scene Radiance, Exposure of Camera, Simplex Method

1. はじめに

人物の撮影においては、映像中の人物の位置や大きさを適切にするだけでなく、その人物を映像上で適切な明るさで撮影することが重要である。もし、人物の明るさがカメラのダイナミックレンジを外れてしまうと、その映像は、ホワイトアウト、ブラックアウトした映像になってしまう。さらに、複数の人物がその場にいる場合には、各々適切な明るさで撮影することが必要になる。例えば、重要な人物の明るさを明るく、そうでない人物の明るさを暗く制御するというような要求が考えられる。複数の人物の映像を各々目標とする画像輝度で撮影するためには、画像全体を一様に変化させてしまうカメラの露出制御だけでは不十分なため、従来は、照明技師などが手動で照明を制御していた。本稿では、これを自動制御する方法について述べる。

本稿は、室内で自由に動く複数人物を、固定カメラで撮影することを想定している。照明制御は、人物の顔に対して行う。通常、顔がカメラに対して正面を向くように撮影する。そこで、正面を向いた人物の顔を照明制御の対象とする。顔の明るさについては、その画像領域における平均画像輝度が、ある目標とする明るさになれば十分であると考える。室内には、照明以外に光を発するものはないとする。この撮影環境の下、光量を制御できる複数の固定照明を用いて、人物の位置に応じて、リアルタイムに照明の制御を行う方法を提案する。

人物の映像上での明るさを制御する場合、従来の手法では、カメラの露出制御、Photometric Image-based Rendering による任意照明画像の生成という2つのアプローチがある。カメラの露出制御では、映像全体の画像輝度に影響を及ぼしてしまうため、複数の人物各々の画像輝度を、同時に制御することはできない。Photometric Image-based Rendering [4] は、任意照明環境下での画像を、いくつかの基底画像から生成することができることを示した。しかし人物が移動すると、毎フレームごとに基底が変化してしまい、これらの基底画像を前もって撮影しておくことは難しい。

人物の撮影における照明制御の研究として、debevec らは、実在する背景の照明環境を、多数の照明を制御することで再現し、この照明環境下で人物の映像を撮影することで、明るさの整合性を保って、背景映像とその人物の映像を合成する手法を提案している [5]。この手法が、ある照明環境の人物の明るさをリアルタイムで作り出して撮影するのに対し、本手法は逆に、人物の映像をある明るさにするような照明環境をリアルタイムで求めることになる。

本手法では、まず各照明の光量が、ある位置にいる人物の顔の平均画像輝度に与える影響を測定する。これは、人物の標準的な形状をしたモデル物体に実際に照明を当てて、事前に測定しておく。撮影時には、それぞれの人物の顔の平均画像輝度が目標とする明るさになるような照明の光量を計算し、これに基づいて照明を動的に制御する。

2. 照明の光量と人物の画像輝度との関係

人物の顔の平均画像輝度を目標とする明るさになるように照明の光量を制御するためには、各照明の光量と人物の顔の平均画像輝度との関係を知る必要がある。本章ではまず、照明の光量と物体の画像輝度との一般的な関係を定式化し、各照明の光量と、ある位置に立っている人物の顔の平均画像輝度との関係を測定する手法について述べる。

2.1 照明の光量と物体の画像輝度との関係の定式化

本節では、各照明の光量に対する物体の画像輝度を定式化する。

照明 i $(i = 1 \ldots N)$ の光量制御変数 v_i によって光量 I_i が制御されているとき、これは光量の変化を表す照明 i に固有の光量変化関数 h_i とその係数 a_i によって、

$$I_i = a_i h_i(v_i) \tag{1}$$

で表すことができる。ここで、照明が消灯しているとき、$v_i = 0$ であるとし、関数 h_i は、0.0–1.0 で正規化された関数で、$h_i(0) = 0$ である。

この照明環境下において撮影を行ったとき、画素 j に対応する物体表面が放つ、カメラ方向への情景放射輝度 L_j は、

$$L_j = \sum_i b_{ij} I_i \tag{2}$$

となる。ここで b_{ij} は、当該物体表面の位置、法線、反射係数、及び照明とカメラの位置によって定まる係数である。L_j は物体表面における拡散反射、鏡面反射による反射光を再現するだけでなく、撮影環境に存在する物体の相互反射光による反射をも再現する。

ゆえに式 1、2 から、

$$L_j = \sum_i c_{ij} h_i(v_i) \tag{3}$$

が導かれる。ただし、$c_{ij} = a_i b_{ij}$ であり、照明 i が、物体の情景放射輝度に与える影響を示している。c_{ij}

は、照明・物体・カメラの 3 体の位置関係、及び物体表面の形状と反射係数によって定まる係数である。本稿では、照明とカメラの位置は固定であるので、c_{ij} は、物体の位置、表面形状、反射係数に依存して変化する。よってこれらが固定である場合、c_{ij} は定数である。

画像上の画素 j の輝度 Z_j と情景放射輝度 L_j との関係は、カメラの露出時間 Δt と、非線形な関数 f によって、

$$Z_j = f(L_j \Delta t)$$

となることが知られている [1]。よって

$$L_j = \frac{1}{\Delta t} f^{-1}(Z_j) = \frac{1}{\Delta t} g(Z_j) \tag{4}$$

となる。ここで、関数 $g = f^{-1}$ は、カメラに入射する光量と画像輝度との関係を表すカメラに固有の反応関数である。

式 3 と 4 において、既知であるのは照明制御変数 v_i、カメラの露出時間 Δt、画像輝度 Z_j である。ゆえに、カメラの反応関数 g、照明の光量変化関数 h_i、照明 i が物体の情景放射輝度に与える影響 c_{ij} を求めることで、照明の光量制御変数 v_i と画像輝度 Z_j の関係を求めることができる。

2.2 照明の光量と人物の平均画像輝度の測定方法

2.1 節で述べたモデルに基づき、未知量である、関数 g、関数 h_i、変数 c_{ij} を測定する手法を述べる。

2.2.1 カメラの反応関数 g、照明の光量変化関数 h_i の測定方法

まず、関数 g を求める。物体が静止し、照明の光量を固定している状況では、式 4 で L_i が固定される。このとき、Δt を変化させて撮影し、そのときの Z_j の変化を測定することで、カメラの反応関数 g が求まる [1]。関数 g が求まることで、式 4 より、Z_j から L_j を求めることができるようになる。なお、Z_j がカメラのダイナミックレンジから外れているとき、L_j が正しく求まらない。そのため、すべての画素が、少なくとも一度はダイナミックレンジ内で撮影されるように、いくつかの露出時間で撮影する必要がある。

次に、照明 i の光量変化関数 h_i を求める。物体が静止しているとき、照明 i のみを点灯させると、式 3 は、

$$L_j = c_{ij} h_i(v_i) \tag{5}$$

である。なお、c_{ij} は、v_i の値にかかわらず固定である。よって、v_i を変化させ、このときの L_j の変化を測定する。この結果を 0.0–1.0 に正規化することで、関数 h_i が求まる。

2.2.2 照明の光量と人物の平均画像輝度の関係の測定

照明 i が物体の情景放射輝度に与える影響 c_{ij} は、物体の位置、表面形状、反射係数に依存する。本稿における撮影対象である人物の顔は、静止していないために位置が変化し、表面形状は表情などで変化する。そこで、以下のようにして照明 i が、人物の平均画像輝度に与える影響を測定する。

本稿における撮影対象は正面を向いた人物の顔であり、その平均画像輝度を目標とする明るさにすることが目的である。

人物の顔の平均情景放射輝度 $\bar{L}$ は、顔の画像領域に含まれる画素 j の集合で平均して求められるので、式 3 から、

$$\bar{L} = \sum_i \bar{c}_i h_i(v_i) \tag{6}$$

となる。ここで $\bar{c}_i$ は、c_{ij} の人物の顔に対応する画素集合での平均である。$\bar{c}_i$ は照明 i が人物の顔に与える影響を表し、人物の顔の位置、形状、反射係数に依存する。

人物の顔の位置は一定ではないため、$\bar{c}_{ij}$ を、その 3 次元座標 $\mathbf{p} = (x, y, z)$ による関数、$\bar{c}_i(\mathbf{p})$ とする。

人物の形状は個人差があり、表情によって時々刻々変化する。そのため、前もって測定しておくことができず、リアルタイムで精度良く測定することも難しい。そこで、人物の頭部の標準的な形状をしたモデル物体を用い、これを人物の顔のかわりとして測定する。位置 $\mathbf{p}$ にあるモデル物体に照明 i が与える影響を $\bar{m}_i(\mathbf{p})$ とすると、その平均情景放射輝度 $\bar{L}_m(\mathbf{p})$ は、式 6 により、

$$\bar{L}_m(\mathbf{p}) = \sum_i \bar{m}_i(\mathbf{p}) h_i(v_i) \tag{7}$$

となる。

ある位置 $(\mathbf{p_s})$ における、$\bar{m}_i(\mathbf{p_s})$ は、モデル物体を撮影することで求める。モデル物体を $(\mathbf{p_s})$ の位置に正面にしておき、照明 i のみをある光量制御変数 v_i で点灯して、モデルの平均情景放射輝度 $\bar{L}_m(\mathbf{p_s})$ を求める。このとき、式 7 より、

$$\bar{L}_m(\mathbf{p_s}) = \bar{m}_i(\mathbf{p_s}) h_i(v_i)$$

$$\bar{m}_i(\mathbf{p_s}) = \frac{\bar{L}_m(\mathbf{p_s})}{h_i(v_i)}$$

となる。任意の位置 $(\mathbf{p})$ における $\bar{m}_i(\mathbf{p})$ を求めるため、いくつかのサンプル位置において $\bar{m}(\mathbf{p_s})$ を測定し、これを補間して $\bar{m}_i(\mathbf{p})$ を求める。

$\bar{m}_i(\mathbf{p})$ を用いて、$\bar{c}_i(\mathbf{p})$ を求める。モデル物体と人物の顔との違いは、その反射係数のみであるとする。ここで、モデル物体と人物の顔の双方の表面が、ともに均一な拡散反射のみであり、それぞれの拡散反射係数の比が r であるとすると、その反射は位置に

よらず一定なので、任意の位置 $(\mathbf{p})$ において、

$$\bar{c}_i(\mathbf{p}) = r\bar{m}_i(\mathbf{p}) \tag{8}$$

である。式 6、7、8 より、

$$r = \frac{\bar{c}_i(\mathbf{p})}{\bar{m}_i(\mathbf{p})} = \frac{\sum_i \bar{c}_i(\mathbf{p})h_i(v_i)}{\sum_i \bar{m}_i(\mathbf{p})h_i(v_i)} = \frac{\bar{L}(\mathbf{p})}{\bar{L}_m(\mathbf{p})}$$

からモデル物体と人物の顔が、同じ照明下で同じ位置にあるときの $\bar{L}(\mathbf{p})$、$\bar{L}_m(\mathbf{p})$ を測定し、r を求める。よって、式 8 から $\bar{c}_i(\mathbf{p})$ が得られる。

3. 照明制御方法

照明 i が人物に与える影響 $\bar{c}_i$ を用いて、各照明の光量を計算する手法について述べる。

人物 k $(k = 1 \ldots M)$ の顔の平均画像輝度の、目標とする明るさを $\bar{Z}_k$ とする。このときの人物 k の平均情景放射輝度 $\bar{L}_k$ は、式 4 から、

$$\bar{L}_k = \frac{1}{e_k}\sum_{j\in k} L_j = \frac{1}{e_k}\sum_{j\in k}\frac{1}{\Delta t}g(Z_j)$$
$$\sim \frac{1}{\Delta t}g(\frac{1}{e_k}\sum_{j\in k} Z_j) = \frac{1}{\Delta t}g(\bar{Z}_k) \tag{9}$$

で近似して求めることにする。ここで、e_k は人物 k の顔の画像領域に対応する画素数である。

よって、人物 k の顔が $\mathbf{p_k}$ の位置にあるとき、その平均画像輝度が目標とする明るさになるためには、式 6、9 により、

$$\bar{L}_k = \sum_i \bar{c}_{ik}(\mathbf{p_k})h_i(v_i) = \sum_i \bar{c}_{ik}(\mathbf{p_k})X_i \tag{10}$$

を、すべての人物 k について満たさなければならない。ここで、$X_i = h_i(v_i)$ は、照明 i の光量に基づく変数である。一般には、M 個ある制約式 10 をすべて満たすためには、変数 X_i の個数 N が M 以上である必要がある。

ここで、すべての人物 k について、制約式 10 を満たすような X_i を求める。ただし、照明の光量には、上下限があるため、X_i の解空間は、$0 \leqq X_i \leqq h_i(v_i^{MAX})$ である。

すべての k について、線形な制約式 10 を満たすような変数 X_i を求めるために、シンプレックス法 [9] を用いる。シンプレックス法により、M 個の線形制約式 10 を満たすような解 X_i が存在するか否かを判定し、存在すればその解を求める。

解が存在する場合、シンプレックス法によって求められた解 X_i から、光量制御変数 $v_i = h_i^{-1}(X_i)$ を求め、この v_i に基づいて照明制御を行う。

一方、解が存在しないときは、次の 2 つの原因が考えられる。

(1) 制約式 10 の解 X_i が、X_i の解空間を外れている。(ex) $\bar{L}_k > \sum_i \bar{c}_{ik}h_i(v_i^{MAX})$

(2) 制約式 10 の解が存在しない。

(1) の原因で解がなくなることを防ぐため、カメラの露出 Δt を制御し、$\bar{L}_k$ の値に柔軟性を持たせる。実際には、カメラの露出の制御変数の数は限られているため、すべての露出 Δt について、$\bar{L}_k$ を式 9 によって求め、各々の条件でシンプレックス法により解が存在するか調べる。解が存在すれば、この解 X_i、カメラの露出 Δt にしたがって、照明、カメラの露出を制御する。

(2) の場合は、制約を少なくする必要がある。そこで、すべての人物に優先度を設定する。優先度が低い順に、人物 k についての制約式 10 を一つずつ除去してゆき、残りの人物に対して解が存在するまで繰り返す。

4. 実　　験

4.1 実 験 環 境

京都大学学術情報メディアセンター R202 教室において、2 人の歩行する人物を対象に実験を行った。照明として、LPL 製 500W のハロゲンランプ照明を 8 つ (ハロゲンランプ $1 \cdots 8$) を用いた。それぞれ、Effect Arts 製調光機によって、128 段階の光量制御が可能である。つまり、$v_i = 0 \ldots 127$ である。

カメラ (SONY 製 EVI-D30) は露出時間以外のパラメータを固定して設置し、システムへの入力画像として、640×480pixel、画像輝度 0–255 の画像とした。露出時間は、$\frac{1}{60}$–$\frac{1}{10000}$(s) の 28 段階制御可能である。

人物、モデル物体の頭の位置は、それぞれ頭頂部にポジションセンサを置き、InterSense 製 Xbar IS-600 によってその 3 次元座標を測定した。

4.2 照明の光量と人物の平均画像輝度の関係

2 章に従って、関数 g、関数 h_i 及び、$\bar{c}_i$ を測定した。

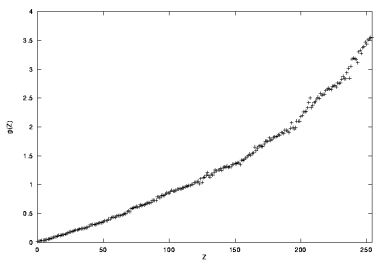
4.2.1 カメラの反応関数 g、照明の光量変化関数 h_i の測定

2.2.1 節の手法により、式 3 におけるカメラの反応関数 g、照明の光量変化関数 h_i を測定した。この結果を図 1 に示す。

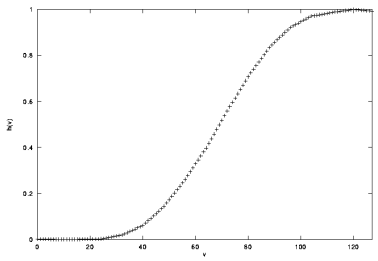
4.2.2 モデル物体を用いた測定

2.2.2 節の手法を用いて、照明 i が人物の顔に与える影響 $\bar{c}_i$ を測定した。

人物の頭部とほぼ同じ形状をし、白色で拡散反射のみの表面を持ったモデル物体を用い、モデル物体に与える影響 $\bar{m}_i$ と、モデル物体と人物との反射係数



(a) カメラの反応関数 g



(b) 照明の光量変化関数 h

図 1　カメラの反応関数 g、照明の光量変化関数 h の測定結果

比 r を測定した。

人物の顔の位置は、歩行時には、ほぼ同じ高さに限られるので、$\bar{c}_i(\mathbf{p})$ を、高さ z を z_{const} に固定して測定した。モデル物体を、その頭頂部の高さがおよそ 180cm になるように高さを固定し、図 2 のように、サンプル点として、x 軸方向 (横方向) は 0–300cm の間にほぼ等間隔で 7 点、 y 軸方向 (奥行き方向) は 0–155cm の間で 4 点、合計 28 点の位置に設置して、$\bar{m}_i(\mathbf{p_s})$ $(s = \{1 \cdots 28\})$ を求めた。モデル物体の位置 $\mathbf{p_s}$ の精度は約 5cm の精度である。また、モデル物体の画像領域は、手動で抽出した。

このように測定された 28 個のサンプルデータ $\bar{m}_i(\mathbf{p_s})$ を、x 軸方向に 6 次元関数、y 軸方向に 3 次元関数で補間して、$\bar{m}_i(\mathbf{p})$ の値を求めた。

ここで、本手法による測定の誤差を評価するため、ランダムに 6 点の位置に実際にモデル物体を置いて測定し、補間によって推定した値と測定値との誤差を求めた。この結果を表 1 に示す。測定値の総和及び絶対誤差の総和は、それぞれ、測定値及び測定値と推定値との絶対誤差を、すべての照明で合計したものである。この誤差比が 8%以下になっており、本稿における制御では、実用上問題ない精度である。

モデル物体の反射係数と人物の顔の反射係数との比 r は、同じ位置にモデル物体と人物を立たせて撮影し、モデル物体、人物の顔の画像領域を、それぞれ手動で抽出し、平均情景放射輝度を求めることで

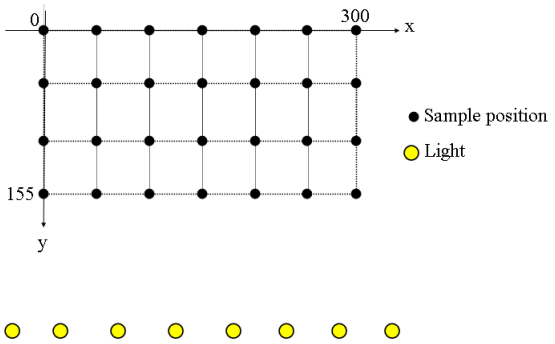


図 2　モデル物体を置いたサンプル点の位置

座標 (x, y)	測定値の総和	絶対誤差の総和	誤差比
(35, 110)	6418.7	400.3	6.24 %
(70, 50)	6415.3	287.7	4.49 %
(115, 80)	8292.9	325.2	3.92 %
(185, 130)	10302.5	296.2	2.87 %
(245, 100)	7721.8	554.9	7.19 %
(275, 35)	5553.1	239.0	4.30 %

表 1　計測値と推定値との誤差

座標 (x, y)	r	$\lvert\bar{r} - r\rvert/\bar{r}$ (%)
(0, 0)	0.2284	7.08
(155, 0)	0.2258	5.88
(300, 0)	0.2307	8.16
(0, 155)	0.2024	5.11
(155, 155)	0.1976	7.37
(300, 155)	0.1948	8.64
平均 $\bar{r}$	0.2133	

表 2　モデル物体と人物 1 の顔の反射係数比 r

測定した。

人物 1 に対し、6 ヶ所で測定した結果を、表 2 に示す。

r の 6 点での平均 $\bar{r}$ に対する、各点での誤差は、10%以内に収まり、標準偏差は 0.0152 となった。

この結果から、r の値は座標 (x, y) によらず、ほぼ一定であることが確認された。よって、人物 1 の r_1 として、平均値 0.2133 を用いた。また、人物 2 に対しても同様に測定し、$r_1 = 0.2033$ (標準偏差 0.0192) を得た。

4.3　照明の動的制御

4.2.2 節で測定した値を用いて、3 章の手法によって照明を制御した。

2 人の人物、人物 1、2 に対し、照明制御を行った。人物 1、2、それぞれの顔の目標とする平均画像輝度を 150、50 とした。

人物 1、2 の位置をポジションセンサで測定し、そ

場所		人物 1	人物 2
1	測定値	157.0	58.4
	絶対誤差	7.0	8.4
2	測定値	159.6	57.7
	絶対誤差	9.6	7.7
3	測定値	158.8	43.9
	絶対誤差	8.8	6.1
4	測定値	165.4	61.3
	絶対誤差	15.4	11.3
5	測定値	165.2	57.7
	絶対誤差	15.2	7.7
6	測定値	158.1	43.9
	絶対誤差	8.1	6.1

表 3　照明制御による人物の顔の平均画像輝度

れぞれの顔の平均画像輝度が目標とする明るさになるように照明、カメラの露出を制御して撮影した。これをランダムに 6 点の位置で行い、検証した。なお、人物 1、2 とも目標画像輝度となるような照明の光量、カメラの露出は存在する。実験画像を図 3 に示す。図 3(a)、(b) とも、右側の人物が人物 1、左側の人物が人物 2 である。この画像から人物 1、2 の顔の平均画像輝度を測定し、目標となる平均画像輝度と比較した。結果を表 3 に示す。

処理時間は、ポジションセンサによって人物の位置を取得し、照明の光量、カメラの露出を計算して、これらを制御し終わるまで、約 1.6(s) かかった。しかし、照明の光量、カメラの露出の計算のみに必要な処理時間は、約 0.0084(s) であり、他はポジションセンサによる位置の取得、照明変化、カメラの露出変化にかかった時間である。

5. 結論と今後の課題

本稿では、各照明の光量と人物の顔の画像輝度との関係を測定し、複数人物の顔の平均画像輝度が目標とする明るさになるように照明を動的に制御する手法を提案した。この手法を実装して実験し、複数人物の顔の平均画像輝度が目標とする明るさになるように、照明を動的に制御できることが確かめられた。

本稿で実装した照明制御は、フレームレートでの制御はできていない。しかし、この処理時間の大部分は本稿で使用した機器によるものであり、より高速な機器を使用すれば、フレームレートでの制御も可能である。

本稿の制御は、人物がもたらす影の影響は考えていない。そのため、ある人物の影が別の人物の顔にかかってしまうと、正しく制御ができない。そこで今後の課題として、人物の影の影響も考慮に入れた照明制御が挙げられる。

(a) 場所 1

(b) 場所 2

図 3　照明制御結果

文　献

[1] Paul E. Debevec, Jitendra Malik “Recovering High Dynamic Range Radiance Maps from Photographs”, SIGGRAPH97, pp.369-378, 1997

[2] 佐藤いまり、佐藤洋一、池内克史、「全方位ステレオによる実光源環境の計測とそれに基づく仮想物体の実画像への重ね込み」、電子情報通信学会論文誌 D-2 Vol.J81-D-2 No.5 1998 pp.861-871、 1998.

[3] Paul E. Debevec, “Rendering Synthetic Objects into Real Scenes: Bridging Traditional and Image-based Graphics with Global Illumination and High Dynamic Range Photography”, SIGGRAPH98, pp.189-198, 1998

[4] 向川康博、宮木 一、三橋 貞彦、尺長健、「Photomatic Image-Based Rendering による仮想照明画像の生成」 、情報処理学会 CVIM 論文誌、Vol41、No.SIG10(CVIM1)、pp.19-30、2000

[5] Paul Debevec, Andreas Wenger, Chris Tchou, Andrew Gardner, Jamie Waese, Tim Hawkins, “A Lighting Reproduction Approach to Live-Action Compositing”, SIGGRAPH 2002, 2002

[6] 新宮 淳, 亀田 能成, 角所 考, 美濃 導彦、「背景画像合成による前景抽出とそれに基づく照明の動的制御」、信学技報 PRMU2001-218, pp.95-102、2002

[7] 「コンピュータビジョン」(新技術コミュニケーションズ) 松山 隆司、久野義徳、井宮淳編

[8] 「ロボットビジョン」(朝倉書店) Horn, B 著 NTT ヒューマンインターフェース研究所・プロジェクト RVT 訳

[9] 「Numerical Recipes in C [日本語版]」(技術評論社), W.H.Press, B.P.Flannery, S.A.Teukolsky, W.T.Betterling 著, 丹慶勝市, 奥村晴彦, 佐藤俊郎, 小林誠訳