

屋外型複合現実感システムにおけるカメラ間の色補正

山本 治由[†] 塚田 正人[†] 北原 格[†] 亀田 能成[†] 大田 友一[†]

[†] 筑波大学大学院システム情報工学研究科 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

E-mail: [†]{haruyosh,tsukada,kitahara,kameda,ohta}@image.esys.tsukuba.ac.jp

あらまし 我々が提案している歩行者が屋外で手軽に複合現実感を体験できる端末型視覚情報システムでは、複数のカメラから得られる映像を、端末姿勢推定と歩行者への情報提示に利用している。本研究では、これらのカメラにおける色特性のばらつきに対して色補正する方法について述べる。本手法により、歩行者が利用する端末カメラと環境中に配置した定点カメラとの間で、特徴領域マッチングが正しく行えるようになる。

キーワード 複合現実感, 色補正, 分光測量, XYZ 表色系

Color Calibration between Cameras for an Outdoor Mixed-Reality System

Haruyoshi YMAMOTO[†], Masato TSUKADA[†], Itaru KITAHARA[†], Yoshinari KAMEDA[†], and
Yuichi OHTA[†]

[†] Department of Intelligent Interaction Technologies, University of Tsukuba Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8573 Japan

E-mail: [†]{haruyosh,tsukada,kitahara,kameda,ohta}@image.esys.tsukuba.ac.jp

Abstract We have been developing a new outdoor mixed-reality system that exploits a small gadget for pedestrians. The system uses surveillance cameras and a camera on the gadget for both estimating the orientation of the gadget and providing integrated images on which users can see rich information. This paper describes the color correction method against intrinsic color characteristics of the cameras. It is useful to make better match of feature regions between the images of different cameras.

Key words mixed reality, color correction, spectrum analysis, XYZ coordinate system

1. はじめに

複合現実感 (Mixed Reality:MR) とは、我々の存在する現実世界とコンピュータで生成した仮想世界を融合した感覚を提示する技術の総称である。近年、複合現実感を屋外環境中で実現することで、歩行者が身の回りの状況を直観的に理解できるように視覚支援する研究が行われている。

そのようなシステムを実現するために、HMD を利用するもの [1] や PDA を利用する研究 [2] がされている。このような情報提示を複合現実感で実現するには、現実世界の画像と CG を位置ずれなく重畳する必要があるため、カメラの位置・姿勢推定を正確に行うことが重要である。位置・姿勢推定のために、現実世界に存在する多数の特徴点を設定しそれらの対応関係を利用する手法 [3] や、建物の稜線を利用するもの [4] が提案されている。

これに対し、我々が取り組んできた歩行者向けの複合現実感

提示システム [5] では、屋外に監視目的などのために多数設置した定点カメラと歩行者の端末カメラを利用している。それらから端末カメラの位置・姿勢推定を行い、その端末上で複合現実感提示を行う。この手法の場合、それぞれのカメラにはフィルタの透過率や CCD の特性、カメラ個体差があり、同物体を同時に撮影してもカメラによって得られる画像の明るさや色合いが異なるという問題がある。その結果、ある対象物体について画像間で照合を行うときにその検出精度が劣化することや、複合現実感提示のためにそれらの画像同士を合成しようとすると、色ずれによる違和感を生じてしまうことがある。そこで本研究では、提案するシステムのカメラ色補正 [6] を行う方法について提案する。これにより、マッチング精度の向上と違和感のない重畳を狙うことができる。

2. 屋外型複合現実感システム

我々が取り組んでいる、複合現実感情報提示システム [5] の

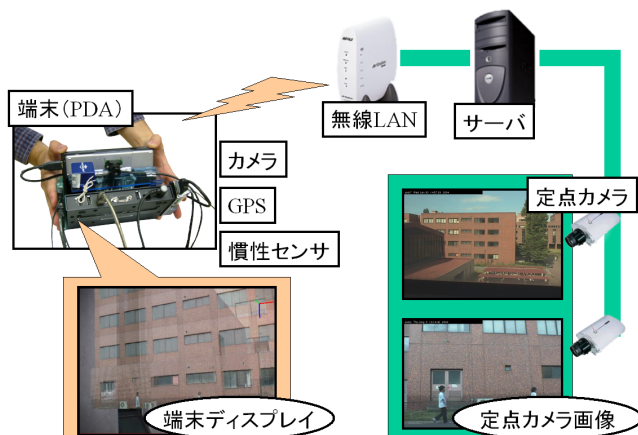


図 1 システム概要



図 2 定点カメラ，端末カメラでの撮影

概要を図 1 に示す。歩行者が様子を知りたい方向に端末 (PDA) をかざすと、そのディスプレイ上には、死角を生じさせる建物を半透明にした、複合現実感に基づく映像が表示される。

歩行者の周囲には定点カメラが設置してある。定点カメラ画像の特定の領域をテクスチャとし、歩行者自身が持つ端末カメラ画像にこのテクスチャを重畳することで死角領域の情報提示を行う (図 1: 端末ディスプレイ)。そのため、各カメラ間で色のずれがあると、重畳時に不自然な画像となる。

ユーザが利用する端末には GPS と地磁気方位センサ付きジャイロセンサが取り付けられており、端末の位置姿勢をリアルタイムに計測している。これを初期値とし、端末カメラの画像から補正値を算出する。補正には、予め設定した建物の特徴的な箇所 (ランドマーク) を端末カメラ画像上で検出しその位置合わせを行うことで補正値を得る。

ランドマーク検出時に以下の条件の一つ以上を満たす場合、ランドマークの色の変化と日照変化などの光の変動に対応することができる。

- ランドマークの表面がランバート面
 - ランドマークと、定点カメラ・端末カメラが一直線上
- ここでは前者を仮定して検出を行うものとする。なお、検出するランドマークは両カメラに対してほぼ正面を向いているものを利用しているのでそれぞれの位置による見え方の変化は小さいと考えられる。

本システムでは、端末カメラとして point gray 社の Dragonfly を、定点カメラとして AXIS 社の AXIS2120 を利用している。それぞれの撮影状況を図 2. に示す。

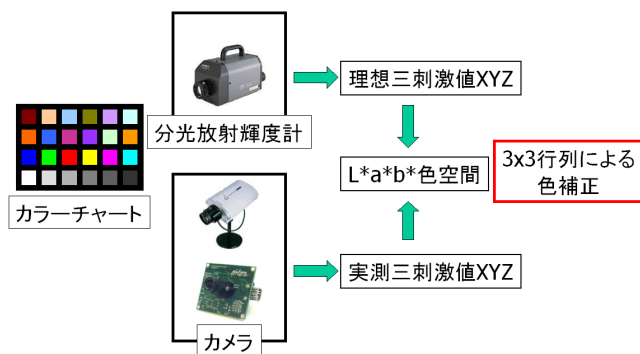


図 3 色補正概要

3. 色 補 正

補正処理の概要を図 3 に示す。まず、分光放射輝度計 (Minolta 製 CS-1000) を用いて、ある照明下でのカラーチャート各色の分光放射輝度を調べ、理想三刺激値を測定する。次にカメラによる撮影を行い各色の実測三刺激値を求める。そしてこれらの差が最小になるような変換行列を求める。補正には $L^*a^*b^*$ 表色系で差を最小とするような 3×3 行列を利用する。

この補正は、カメラの出力が入力に対して線形であることを想定しているため、カメラはその出力が輝度に対して線形に変化するように設定する。

3.1 理想値の測定

分光放射輝度計で測定した分光分布は、光源の分光分布と対象物の分光反射率を掛けたものである。これに図 5 に示す等色関数を掛け合わせるにより、その照明下における XYZ の 3 刺激値を得ることができる。光源の波長を $\lambda[nm]$ 、可視光範囲を $380 \sim 780nm$ とし、光源の分光分布を $P(\lambda)$ 、等色関数を $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ 、対象物の分光反射率を $\rho(\lambda)$ とすると、以下のように表すことができる。

$$\begin{aligned} X &= K \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{x}(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda \\ Y &= K \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda \\ Z &= K \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{z}(\lambda) \rho(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

$$\text{ただし } K = 100 / \int_{380}^{780} P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

光源の分光分布を得るために、分光反射率が既知である白板を利用する。測定した白板の分光分布を分光反射率で割ることで、光源の分光分布を得ることができる。実験で利用した光源の分光分布を図 6 に示す。実験ではハロゲンランプを利用しているため、赤が強くなっている。

3.2 カメラの入出力関係の線形化

カメラの出力は可視性をあげるために入力に対して非線形な対応関係になっていることがある。



図4 カラーチャート

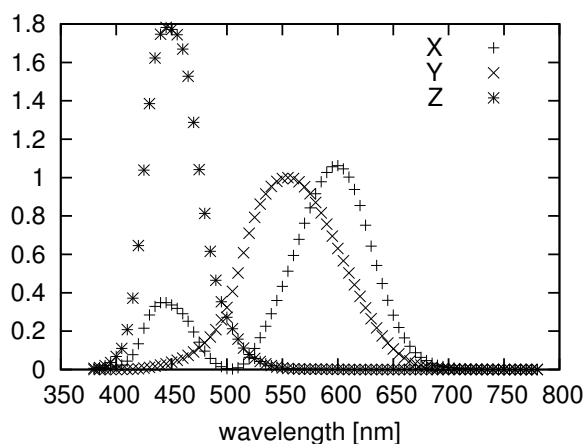


図5 等色関数

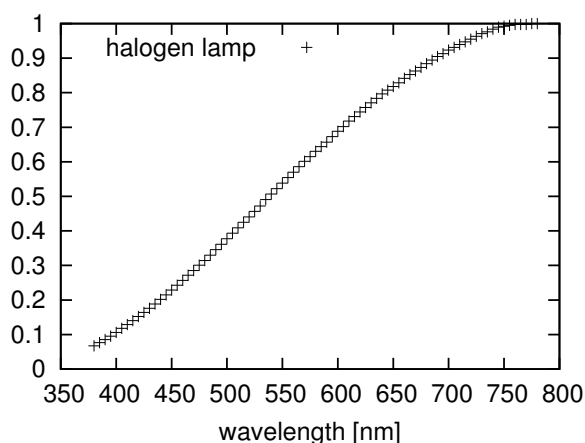


図6 ハロゲンランプの分光分布

カメラ画像が入力の輝度に対して線形に変化する場合、色補正は 3×3 行列による線形な変換で表すことができる。そこでカラーチャートのグレイ部分の輝度に対して、カメラ画素値が線形に変化するように補正を行う。

横軸にカメラの画素値を、縦軸に分光光度計で得た理想の画素値をとったものを図7, 8に示す。近似式には以下の式を利用する。

$$p' = a \times p^b$$

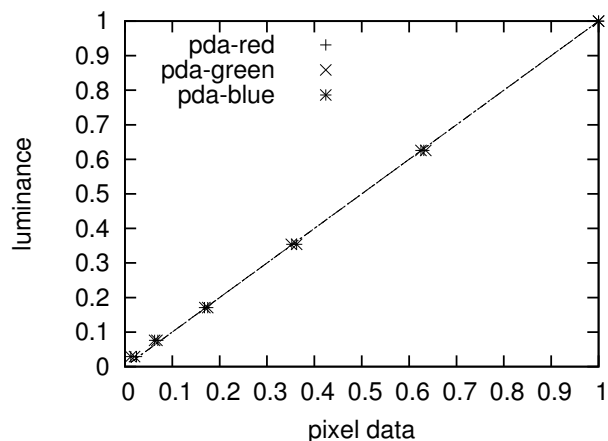


図7 輝度と画素値の対応 (端末カメラ)

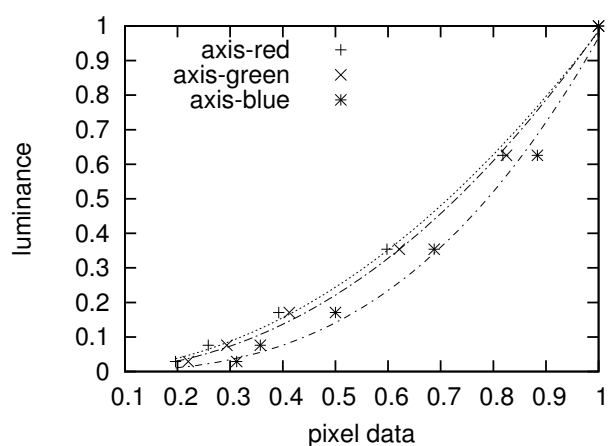


図8 輝度と画素値の対応 (定点カメラ)

p を画素値、 a, b を定数とし、RGB3要素に対してそれぞれ近似を行う。図7から、端末カメラはほぼ線形に対応していることがわかる。一方、図8の定点カメラはガンマ処理の影響と考えられる、非線形な対応になっていることがわかる。我々が使用している定点カメラはガンマ補正機能をはずすことができないので、色補正を行う前に、この近似式による補正を行う。この処理のことを以後デガンマ処理と呼ぶ。

3.3 シャッタースピード・ゲインの補正

屋外では天候や時間による日照の変化が大きいため、適切な明るさの画像を取得するためにカメラのシャッタースピード・ゲインを変更する場合がある。理想三刺激値と実測三刺激値を測定する際はカメラを特定のシャッタースピード・ゲインに設定して行っているため、これらの設定値を変更して撮影している場合は補正を行う必要がある。

ここではシャッタースピードとゲインを変更したときの画素値の変化を調べ、それを再現する方法を説明する。ゲインを大きな値に設定するとノイズが多く発生したので、まずシャッタースピードの変更で画像の明るさを調整し、対応しきれない場合のみ、ゲインを変更する。なお、各カメラはホワイトバランスを固定して撮影している。

端末カメラにおいて、シャッタースピードとゲインを変化させて撮影したときのカラーチャートの各箇所の画素値の変化を

図 9, 10 に示す。それぞれ、横軸をシャッタースピード/ゲインとし、縦軸を画素値としている。画素値はカラーチャート上の 24 点において、RGB の 3 値をプロットしている。図 9 から、端末カメラはシャッタースピードに対して線形に出力が変化していることがわかる。一方、ゲインについては二次関数的に変化していることがわかる。この結果から、基準測定時と撮影時の画素値の関係を以下の式で近似した。

$$p = f_s(p_b, s) = (a \cdot p_b + b)(c \cdot s + d)$$

$$p = f_g(p_b, g) = (a' \cdot p_b + b')(c' \cdot g^2 + d' \cdot g + e')$$

ここで、 s, g, p は撮影時のシャッタースピード、ゲイン、画素値とし、 p_b は基準測定時の画素値とする。 $a, b, c, d, a', b', c', d', e'$ は定数であり、測定結果から求める。

一方、定点カメラについては、我々が使用しているカメラはシャッタースピードとゲインを連続的に変更できないため、屋外で利用することがある設定値それぞれにおいて予め補正行列を算出しておく。

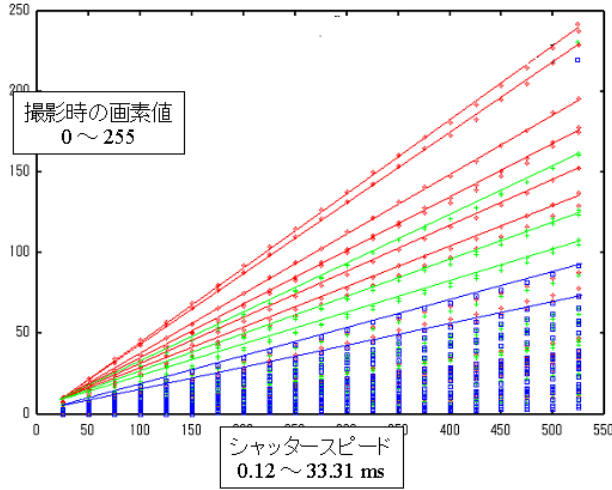


図 9 シャッタースピード

3.4 L*a*b*表色系による色補正

カメラ画像を分光反射輝度計で得た理想の値に補正することによって、カメラ間の色補正を行う。カメラの出力は RGB、理想値は XYZ で得ることができるが、補正に使う色が偏らないようにするために均等色空間である L*a*b*表色系に変換する。

$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - 16$$

$$a^* = 500 \left(\left(\frac{X}{X_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right)$$

$$b^* = 200 \left(\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{\frac{1}{3}} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{\frac{1}{3}} \right)$$

ただし、 X_n, Y_n, Z_n は完全拡散反射面の三刺激値とし、 $\frac{X}{X_n} > 0.008856, \frac{Y}{Y_n} > 0.008856, \frac{Z}{Z_n} > 0.008856$ である。

カラーチャートの 24 色の二乗差を合計した ΔE_{ab} が最小になるような 3x3 行列を算出する。

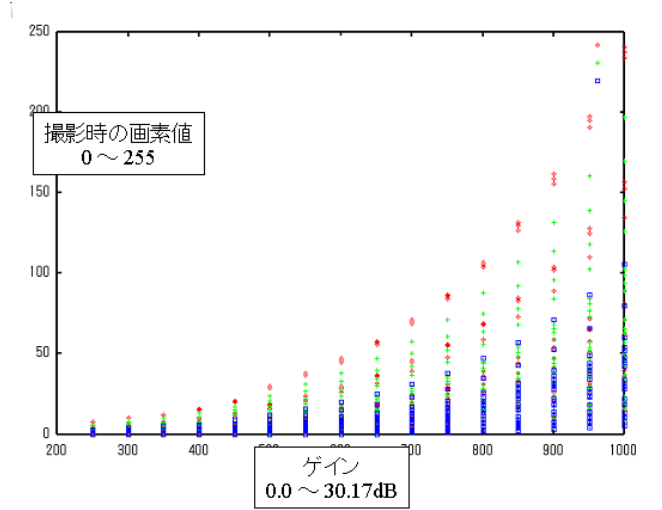


図 10 ゲイン



図 11 人工照明下のカラーチャート (a) 端末カメラの補正前, (b) 補正後, (c) 理想値

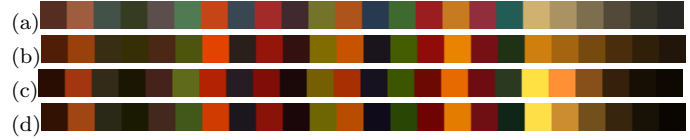


図 12 人工照明下のカラーチャート (a) 定点カメラの補正前, (b) 補正後, (c) デガンマ+補正後, (d) 理想値

$$\Delta E_{ab} = \frac{1}{24} \sum_i^{24} \sqrt{\Delta L_i^2 + \Delta a_i^2 + \Delta b_i^2} \quad (1)$$

4. 実験

色補正の効果を調べるために、屋内における人工照明下で実験を行った。そして、本システム上で実際に色補正を行うために屋外における太陽光での実験を行った。

4.1 人工照明下での実験

照明にハロゲンランプを利用し、カラーチャートを利用して色補正を行った。図 11, 12 はそれぞれ、端末カメラと定点カメラで撮影したカラーチャート 24 色を取り出したものである。補正前後における誤差 ΔE_{ab} を表 1 に示す。これは、端末カメラ・定点カメラ・理想値に対して、式 1 の誤差を表している。理想値と各カメラ間の誤差は、色補正によって小さくなっていることがわかる。(表 1: 理想値と端末カメラ・定点カメラ) また定点カメラに関しては、3.2 節で述べたデガンマ処理をしてから色補正を行うことで、補正後の誤差がより小さくなっていることがわかる。(表 1: 理想値とデガンマ) そして各カメラを理想値へ色補正することにより、カメラ間の誤差も小さくなっている。(表 1: 端末カメラとデガンマ) このことから、カメラの台数が増えた場合でも、そのカメラ毎に理想値へ色補正を行うことでカメラ間の誤差を小さくすることができるといえる。

表 1 理想値へ補正する前後における誤差 ΔE_{ab}

	理想値と端末カメラ	理想値と定点カメラ	理想値と定点カメラ (デガンマ)	端末カメラと定点カメラ (デガンマ)
補正前	4.02	6.39	3.45	7.42
補正後	1.11	1.78	1.34	2.14

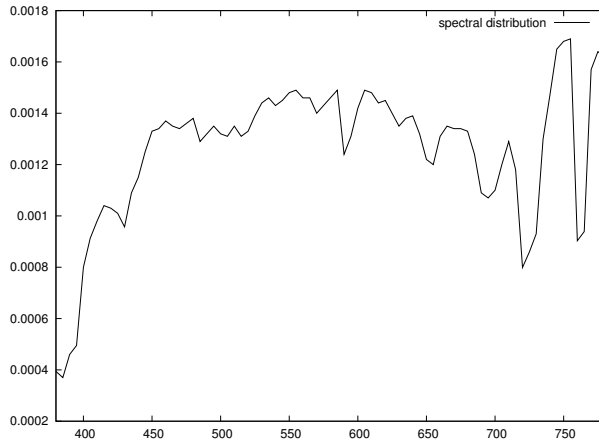


図 13 太陽光の分光分布



図 14 太陽光下のカラーチャート (a) 端末カメラの補正前, (b) 補正後, (c) 理想値

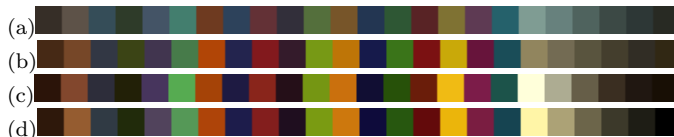


図 15 太陽光下のカラーチャート (a) 定点カメラの補正前, (b) 補正後, (c) デガンマ+補正後, (d) 理想値

なお、人工照明による実験結果を屋外環境で利用するためには、2つの点について考慮しておく必要がある。一つは照明にハロゲンランプを使用しているため、得られた画像の赤成分が強くなってしまい、補正に利用する色の分布が偏っている点である。もう一つは、人工照明の明るさと太陽光とでは光量が大きく異なるため、そのことに対応していく必要がある点である。

4.2 太陽光での実験

次に太陽光を照明としての実験を行った。実験の手順を以下に示す。

- 太陽を光源とした色補正式の算出 (3.1 節)
- 補正対象画像への処理 (3.2 節と 3.3 節で示す処理, 3.4 節の色補正)

太陽光による色補正は、太陽光変化の影響を小さくするため、直射日光が当たらない場所で、日中の比較的太陽光が変化しない時間帯に行った。その時の太陽光の様子を図 13 に、カラーチャートの補正の様子を図 14, 15 に、補正誤差を表 2 にしめす。この結果は人工照明下の時と同じように、デガンマ・色補正によって誤差が小さくなっていることがわかる。

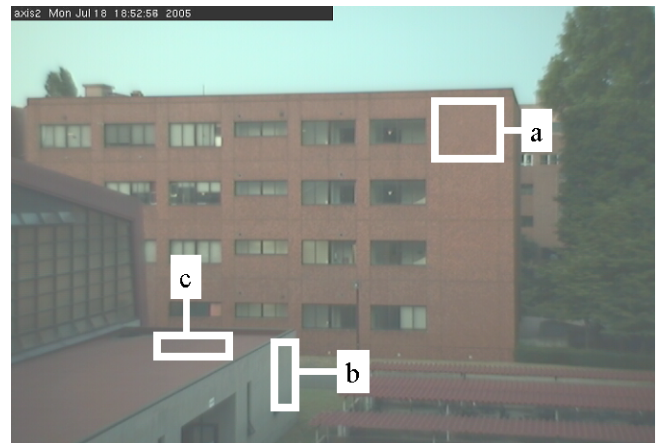
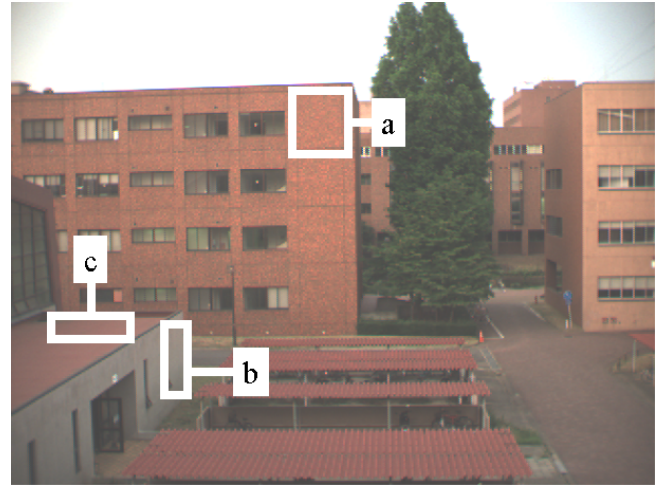


図 16 屋外を撮影した映像 (上: 端末カメラ画像, 下: 定点カメラ画像)

実験では補正対象として、屋外型複合現実感システムでの定点カメラ設置位置から撮影した画像を用いる。今回は、端末カメラと定点カメラを近くに設置している。それぞれのカメラで撮影した画像を図 16 に示す。端末カメラ画像に対してはカラーチャート撮影時のシャッタースピードを再現するよう 3.3 節で述べた補正を行う。

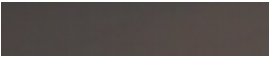
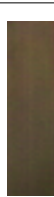
色補正の評価のために、図 16 の矩形で示す、建物の壁や屋根といった色が様な領域において、その平均画素値 ($L^*a^*b^*$ 値) を算出して比較した。領域 a は茶色の建物の壁面、領域 b は灰色のコンクリートの壁面、領域 c は赤色の屋根である。その結果を表 3, 図 17 に示す。補正後のカメラ間の画素値は近い値を示していることがわかる。

5. おわりに

異なるカメラ間での照合や合成の違和感を減らすため、色補正手法について述べた。色補正前にカメラの入出力対応を線形化することにより、誤差が小さくなることを示した。本手法によれば補正に理想 3 刺激値を利用することで、カメラの種類が

表 2 太陽光を照明とした色補正の誤差 ΔE_{ab}				
	理想値と端末カメラ	理想値と定点カメラ	理想値と定点カメラ (デガンマ)	端末カメラと定点カメラ (デガンマ)
補正前	3.33	6.23	6.63	10.33
補正後	1.05	2.10	1.92	2.46

表 3 各領域の平均画素値 ($L^*a^*b^*$ 色空間) とカメラ間の差				
		端末カメラ ($L^*a^*b^*$)	定点カメラ ($L^*a^*b^*$)	カメラ間の差
領域 a	補正前	(64.3, 24.0, 24.4)	(64.4, 6.74, 9.11)	23.1
	補正後	(64.1, 22.1, 30.8)	(66.6, 25.1, 31.3)	3.94
領域 b	補正前	(61.2, 3.22, 6.88)	(64.1, -7.52, 0.487)	12.8
	補正後	(65.0, 2.33, 16.6)	(62.1, 3.71, 14.5)	3.84
領域 c	補正前	(56.0, 19.1, 13.6)	(61.0, 3.19, 2.84)	19.8
	補正後	(57.3, 19.0, 17.4)	(56.9, 21.6, 16.8)	2.70

図 17 屋外画像の各領域における色補正結果			
	領域 a	領域 b	領域 c
端末カメラ			
定点カメラ			
端末カメラ (補正後)			
定点カメラ (補正後)			

増えた場合でも単体での色補正を行うことができる。

そして、我々が取り組んできた歩行者向けの複合現実感提示システムにおいて、ランドマークを撮影している定点カメラと、シャッタースピードを変更した端末カメラ間で色補正を行った。カラーチャートの各色だけでなく、屋外の建物の壁面においても $L^*a^*b^*$ 空間での距離が小さくなっていることが確認できた。

今回の実験では定点カメラと端末カメラを近くに設置したが、大きく離れた場合の変化や、異なる日照における色補正の有効性について調べる必要がある。

文 献

- [1] 小田島太郎, 神原誠之, 横矢直和: “拡張現実感技術を用いた屋外型ウェアラブル注視提示システム”, 画像電子学会誌, Vol.32, No.6, pp.832-840, Nov.2003
- [2] W. Pasman, C. Woodward: “Implementation of an Augmented Reality System on a PDA”, poster article, Proc. ISMAR 2003.

- [3] 大江統子, 佐藤智和, 横矢直和: “画像特徴点によるランドマークデータベースに基づくカメラ位置・姿勢推定”, 信学技報 MIRU2005 pp.800-807, 2005.
- [4] 全柄東, 石井高志: “センサ統合による屋外 AR のための定位方式”, 信学技報 MIRU2005 pp.917-924, 2005.
- [5] 武政泰輔, 大田友一: “定点カメラ映像を用いた歩行者のための屋外型複合現実感システム”, 信学技報 MIRU2004-198, 2004.
- [6] 田島譲二: “カラー画像複製論”, 丸善株式会社