原著論文

色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減†

村上 龍希*・景山 陽一*・西田 眞*

ビデオチャットにおいて、カメラから得られた映像を加工することなく相手に送信した場合、人物の背景情報（オフィスなどの部屋の内部）に含まれる個人情報も同時に相手に送信される。その対策として、オブジェクト（前景となる人物領域）のみをリアルタイムに抽出し、目的に応じて背景情報を任意の画像や映像に差し替える方法が有効である。また、差し替え画像に風景画像を用いた場合、背景の差し替えによって「風景画像の示す場にいるような映像」を送信可能である。しかしながら、前景と新しい背景の間に色味の差が生じることによって、背景差し替え映像に違和感を感じる場合がある。この色味の差異は、画像取得時における光源色の色温度の差に起因して生じる。そこで本論文では、色温度特徴に着目し、背景差し替えの違和感を軽減する方法を提案する。

提案手法は3つのステップから構成される。はじめに、前処理として人物領域の抽出に用いる動的背景差分法の初期値を設定した。また、カメラ画像と差し替え画像の色温度推定を行い、色温度変換行列を生成した。次に、背景差分結果を用いて取得した人物領域に対して色温度変換を施した。最後に、色温度変換結果と差し替え画像を合成し、背景差し替え画像を取得した。

被験者14名を対象とした評価実験の結果、提案手法は色被りのある風景画像を用いた背景差し替え映像の違和感を軽減可能であることを明らかにした。

キーワード：ビデオチャット、背景差し替え、違和感軽減、色温度

1. はじめに

近年、情報通信技術の発展に伴い、ネットワークを介して相手の映像を見ながら会話する「ビデオチャット」が広く利用されている。特に、スマートフォンやタブレット端末のようなカメラを内蔵した携帯情報通信端末の普及により、端末の標準機能やSkype[1]などの通話アプリケーションを用いることで手軽なビデオチャットの利用が可能となった。また、不特定多数の相手を対象としたコミュニケーションとして、Ustream[2]のような映像配信アプリケーションを用い、自身の映像をビデオチャットのように配信するケースも多く見られ、人物映像をリアルタイムに配信・視聴する機会は増加傾向にある。

一方、情報発信・共有が容易になった今日において、個人情報は意図せず流出する場合がある。例えば、ビデオチャットにおいて、カメラから得られた映像を加工することなく相手に送信した場合、人物の背景情報（オフィスなどの部屋の内部）に含まれる守秘情報やプライバシー情報も相手に送信される。この対策として、オブジェクト（前景となる人物領域）のみをリア

ルタイムに抽出し[3-6]、目的に応じて背景情報を任意の画像や映像に差し替える方法が報告されている。

また、風景画像を用いた背景差し替え法は、「風景画像の示す場所にいるような臨場感」を演出できるため、ビデオチャットのエンターテインメント性を向上させるツールとしても利用されている[7]。しかしながら、人物領域と差し替え画像の合成結果（背景差し替え映像）に対してユーザが違和感を感じた場合、背景差し替え映像の臨場感が損なわれる可能性がある。

背景差し替え映像に対する違和感は、「人物領域の過剰抽出・欠損」のような形状情報に関する問題や、「カメラ映像の色被り」のような色情報に関する問題により生じると考える。前者への対策としては、動的背景更新による物体検出[4]やクロマキー処理[5]、さらには動的輪郭モデルを用いた輪郭検出[8]を用いた前景抽出の精度向上[6]などの方法がある。また、後者への対策としては、環境光や被写体の色に影響されことなく正確に光源色を特定し、ホワイトバランス調整を行う装置[9]などを利用することで、色被りの少ない自然な色合いのカメラ映像を取得する方法がある。しかしながら、「夕焼け」や「曇天」のような全体的に赤みや青みを帯びた（色被りした）風景画像を差し替え画像として用いた場合、背景の色味（有彩色の帯び具合）と人物領域における色味に差異が生じる（図1（c）参照）。このため、差し替え画像の色味に合うように人物領域

† Uncomfortable Feeling Reduction of Background Replacement on the Basis of Features of Color Temperature

Tatsuki MURAKAMI, Yoichi KAGEYAMA and Makoto NISHIDA

* 秋田大学

Akita University

図1 提案手法を用いた背景差し替え映像のイメージ

の色味を変換することは、背景差し替えの違和感を軽減可能にすると考える(図1(d)参照)。

画像の色味を変換する手法として、von Kriesモデルに基づく色順応変換が知られている[10]。上記方法は、 3×3 の変換行列を用いて、照明光の色によらず対象の色が不変であるような画像を生成可能である。具体的には、光源Aと光源Bの色に対応した錐体出力(色を感じる視細胞の反応値)[10]が分かれば、ある画像の光源Aを別の光源Bに置き換えたような画像の色味変換が可能である。また、光源色は、黒体(完全放射体)が放射する光を黒体の絶対温度で表したものである「色温度」を用いて定量的に扱うことができ、その色度座標も取得可能である[10-13]。色度座標が分かれば、いくつかの色変換を経て、光源の錐体出力を取得することができる[12]。そこで本論文では、色温度に着目した色味変換(色温度変換)を施し、背景差し替えの違和感軽減を行う。

色温度変換の実用的な使い方として、ホワイトバランス補正がある。例えば、記憶色の性質に基づき、顔の肌色を用いて推定した色温度を用いて、ホワイトバランス補正する方法[14]などの色被り軽減手法が報告されている。また、文献[15]では、色温度推定結果に対する評価として、色温度変換を利用した色補正を行っている。しかしながら、背景差し替えの違和感軽減を目的とし、色温度変換を利用して差し替え画像の色味に合うように人物領域を色被りさせる手法に関する研究は、筆者らの調査した範囲では見当たらない。

そこで本論文では、ビデオチャットにおけるプライバシー配慮およびエンターテインメント性向上を目的とし、色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減法を提案する。また、スマートフォンやタブレット端末での利用を想定し、提案手法を組み込んだAndroidアプリケーション[16]を作成した。提案手法では、はじめ

に、カメラ映像・差し替え背景の光源色推定および背景差分の前処理を行った。次に、推定した光源色情報を用いて前景の色温度変換行列を取得した。最後に、背景差分により得られた前景に対して色温度変換を施した後、背景を風景画像に差し替えて背景差し替え映像を取得した。14名による評価実験の結果、提案手法は色被りした風景画像を用いた背景差し替え映像に対する違和感軽減を可能にすることを明らかにしたので報告する。

2. 色温度変換

本論文では、差し替え画像の色味に合うような人物領域の色味変換を行う。すなわち、人物領域の光源色が差し替え画像の光源色と同一になるような色味変換を行う。一方、「色温度[10-12]」は、光源の色を定量的に表現可能な指標である。また、色温度を用いることで人工光源や自然光源に近似した光源色を取得可能である。そこで、差し替え画像の光源色(色温度)を目標とし、人物領域を色味変換(色温度変換)した画像の取得を行う。なお、背景差し替えの違和感軽減を目的とした人物領域の色温度変換に関する研究は、筆者らの調査した範囲では見当たらない。

人間の目は、赤、緑、青を感じる3種類の受光器を有しており、照明光に応じて各受光器の感度バランスを調節する機能を備えている[10, 12]。このため、屋外と室内のような照明光の異なる環境において、同一物体の色の見えはあまり変化しない。上記機能を式化したものが、von Kriesの色順応予測式であり、任意の光源下での色の見えを推定可能である[10]。そこで本論文では、von Kriesモデルに基づき、 3×3 の変換行列を用いた色温度変換を行う。具体的には、カメラ画像の画素値(R_s, G_s, B_s)と変換行列 N (3行3列)の行列積から出力画素値(R_D, G_D, B_D)を取得する(式(1)参照)。色温度変換行列の生成を行う色温度変換モジュールの概要を図2に示す。なお、 N は2.3節に示すような3通りの手法で導出した。

$$\begin{pmatrix} R_D \\ G_D \\ B_D \end{pmatrix} = N \begin{pmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{pmatrix} \quad (1)$$

図2 色温度変換モジュールの概要

2.1 色温度

黒体(完全放射体)が放射する光を黒体の絶対温度で表したものを色温度と呼ぶ[10-12]。また、黒体の一連の絶対温度における放射の色度点を結んだ線を黒体軌跡と呼ぶ。一方、光源の色度は必ずしも黒体軌跡上にあるとは限らない。このため、光源の色度点が黒体軌跡上にない場合、光源色は最も近似した黒体放射の色温度で表現され、これを「相関色温度」と呼ぶ。

白熱電球のような人工光源の光は、黒体の放射する光によって規定されているため、黒体軌跡上の色度を用いて近似的に表現可能と考える。また、自然光の色度を表す昼光軌跡は黒体軌跡とほぼ一致するため[11]、自然光源の光も黒体軌跡上の色度を用いて近似的に表現可能と考える。そこで本論文では、すべての光源を黒体軌跡に基づくと仮定し、光源色の色度座標取得を行った。

2.2 色温度に着目した光源色の色度座標取得

光源色の相関色温度が与えられたとき、光源の分布温度および色温度・相関色温度の測定方法[13]により、光源色のuv色度座標(CIE 1960 UCS)を算出できる。具体的には、相関色温度 T_{cp} の入力に対し、光源のuv色度座標(u, v)が取得可能である。さらに、後述の von Kries の色順応予測式では、光源色のXYZ三刺激値(CIE 1931)を用いる。このため、式(2)を用いてuv色度からxy色度へ変換した。

$$x = \frac{3u}{2u - 8v + 4}, y = \frac{2v}{2u - 8v + 4} \quad (2)$$

さらに式(3)を用いて、 $Y=1$ となるように正規化(明るさを正規化)したXYZ三刺激値を取得した。

$$X = \frac{x}{y}, Y = \frac{y}{y} = 1, Z = \frac{1 - x - y}{y} \quad (3)$$

2.3 von Kriesモデルに基づく色温度変換行列の取得

式(1)における変換行列 N は、(Ⅰ) von Kries の色順応予測式、(Ⅱ) 三刺激値(X, Y, Z)から錐体出力(L, M, S)への変換行列 P (式(4)参照)、ならびに(Ⅲ) カメラ画像のRGB値(R, G, B)から三刺激値(X, Y, Z)への変換行列 Q (式(5)参照)を用いて導出する。なお、変換行列 P, Q はそれぞれ 3×3 の定数行列である。

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = Q \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (5)$$

von Kries の色順応予測式は、XYZ三刺激値を用いた物体色(X_S, Y_S, Z_S)に対し、照明光の変化に伴って変化した物体の色(対応色)を(X_D, Y_D, Z_D)とした場合、対応色を定量的に求める方法である(式(6)参照)[10]。

$$\begin{pmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{pmatrix} = U \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} \quad (6)$$

このとき、物体色と対応色の錐体出力は式(7)、(8)となる。

$$\begin{pmatrix} L_S \\ M_S \\ S_S \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} L_D \\ M_D \\ S_D \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} X_D \\ Y_D \\ Z_D \end{pmatrix} \quad (8)$$

式(6)～(8)を用いて、変換行列 U を式(9)のように導出する。

$$U = P^{-1} \begin{pmatrix} L_D/L_S & 0 & 0 \\ 0 & M_D/M_S & 0 \\ 0 & 0 & S_D/S_S \end{pmatrix} P \quad (9)$$

なお、物体色と対応色の錐体出力はそれぞれ、前景と差し替え背景の色温度に対応した正規化XYZ三刺激値(2.2節参照)を式(4)に適用して取得した値を用いる。

以上から、カメラ画像の画素値と出力画素のRGB値は、式(10)のように定義される。また、変換行列 N は式(11)のように定義される。

$$\begin{pmatrix} R_D \\ G_D \\ B_D \end{pmatrix} = Q^{-1} U Q \begin{pmatrix} R_S \\ G_S \\ B_S \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$N = Q^{-1} P^{-1} \begin{pmatrix} \frac{L_D}{L_S} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{M_D}{M_S} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{S_D}{S_S} \end{pmatrix} P Q \quad (11)$$

すなわち、変換行列 N を予め生成することができれば、カメラ画像に対する色味変換が式(1)によって実現される。なお、一般的なデジタル画像はsRGB

の規格に則って数値化されているため、変換行列 Q はsRGB空間からXYZ三刺激値への変換行列を用いた(式(12)参照)。また、JISで推奨されているBradford変換行列[17](式(13)参照)およびD65光源に正規化されたHunt-Pointer-Estes(HPE)変換行列[10, 18](式(14)参照)をそれぞれ P_B , P_H とし、変換行列 P として用いた(詳細は5章参照)。

$$Q = \begin{pmatrix} 0.4124 & 0.3576 & 0.1805 \\ 0.2126 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9505 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$P_B = \begin{pmatrix} 0.8951 & 0.2664 & -0.1614 \\ -0.7502 & 1.7135 & 0.0367 \\ 0.0389 & -0.0685 & 1.0296 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$P_H = \begin{pmatrix} 0.4002 & 0.7076 & -0.0808 \\ -0.2263 & 1.1653 & 0.0457 \\ 0 & 0 & 0.9182 \end{pmatrix} \quad (14)$$

3. 撮影環境および使用画像データ

3.1 撮影環境

本論文では、タブレット端末(Sony: SGPT112JP/S)の前面カメラを用いて被験者を撮影した。使用端末はNVIDIA Tegra 2 モバイルプロセッサ 1GHzを搭載しており、画面サイズは1280×800(解像度160dpi)、前面カメラは640×480の画像を取得可能である。撮影環境の概要を図3に示す。また、撮影環境を以下にまとめる。

- 被験者は14名(20代前半: 男性9名, 女性5名)。
- 日常的にスマートフォンを利用している被験者は14名中9名(1年未満が3名, 1年以上が6名)。
- 被験者と端末の距離は約50cm。
- 使用端末はスタンドを用いて仰角約70°に固定。
- 被験者は、自身の顔がカメラ映像の中心となるように椅子を調整。
- 蛍光灯(Panasonic: 高演色性蛍光灯 リアルクス演色AAA)下で被験者を撮影。
- ブラインドを用いて屋外光を遮光。

図3 撮影環境の概要

- 蛍光灯に起因したカメラ映像のフリッカ抑制を目的とし、被験者頭上蛍光灯を消灯。
- 室内および被験者頭上の平均照度はそれぞれ約364lx, 約225lx。また、平均色温度はそれぞれ約4452Kおよび約4411K(色彩照度計(KONICA MINOLTA: CL-200A)を使用して測定[19])。
- 人物領域抽出精度およびカメラ画像の色温度推定精度の向上を目的とし、被験者後方に灰色背景紙(スーペリア・メンテ: BPS-2705 #58)を設置。

なお、提案手法を組み込んだアプリケーションは、Android 4.0.3以降のバージョンを搭載したスマートフォンおよびタブレット端末において利用可能である。本論文では、被験者の主観評価の円滑化を目的とし、画面が大きく、タッチ操作のしやすいタブレット端末を実験に用いている。また、本論文では「秋田大学手形地区におけるヒトを対象とした研究に関する倫理規定第6条第2項」に基づいた倫理審査の承認を得た研究計画の下に、被験者本人の了承を得て実験データを取得している。

3.2 使用画像データ

光源色は、色温度が低いと赤みを帯び(赤被りし)、色温度が高いと青みを帯びる(青被りする)。そこで本論文では、赤被り風景、青被り風景、ならびに昼白色風景(赤被りや青被りのない風景)の3系統に分類される画像を選定し、これを使用画像データとして用いた。具体的には、使用画像データから推定した光源色を基に、(1)相関色温度および(2)sRGBの白色基準(D65: 相関色温度6500K, xy色度座標(0.313, 0.329))[12]との色差 E_{ab} [10]を算出し、使用画像データの系統分けを行った。なお、本論文では、2色をほぼ同一と認めることができる基準として、4級の許容色差($E_{ab} < 5.0$)[12]を用いた。使用画像データの系統分類基準を以下に示す。

- E_{ab} が5.0より小さい場合、4級の許容色差で色被りがないとし、昼白色風景とした。
- E_{ab} が5.0以上であり、色温度が6500Kを上回る場合、4級の許容色差を超えて青被りしているとし、青被り風景とした。
- E_{ab} が5.0以上であり、色温度が6500Kを下回る場合、4級の許容色差を超えて赤被りしているとし、赤被り風景とした。

相関色温度および色差 E_{ab} の算出手順を図4に示す。

(1)相関色温度およびuv色度座標の算出: はじめに、情景中の物体色の平均が灰色に近いという仮説(灰色仮説)[12]に基づき、風景画像の平均色を推定光源色 $W(R_W, G_W, B_W)$ として推定した。次に、sRGB空間か

図4 使用画像データの解析手順

らXYZ三刺激値への変換(式(5), (12)), XYZ三刺激値からxy色度座標への変換(式(15)), xy色度座標からuv色度座標への変換(式(16))を行った。

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (15)$$

$$u = \frac{4x}{-2x+12y+3}, v = \frac{6y}{-2x+12y+3} \quad (16)$$

最後に、推定光源色のuv色度座標を用いて、相関色温度の測定方法[13]により光源色の相関色温度を算出した。なお、同手法は、相関色温度からuv色度座標を算出可能である。

(2) 色差 E_{ab} の算出：風景画像から推定した相関色温度に対応する光源色と白色基準D65に着目し、色差 E_{ab} を算出した。具体的には、各光源色の正規化XYZ三刺激値を算出し(式(3)参照), XYZ表色系から $L^*a^*b^*$ 空間への変換を行った(式(17)参照)。

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & t > 0.008856 \\ 7.787t + 16/116 & t \leq 0.008856 \end{cases}$$

$$L = \begin{cases} 116Y^{1/3} - 16 & Y > 0.008856 \\ 903.3Y & Y \leq 0.008856 \end{cases}, \quad (17)$$

$$a = 500\{f(X/X_n) - f(Y/Y_n)\},$$

$$b = 200\{f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)\}$$

なお、式(17)の (X_n, Y_n, Z_n) には、D65の正規化XYZ三刺激値を用いた。最後に、光源色 (L_w, a_w, b_w) とD65 $(L_{D65}, a_{D65}, b_{D65})$ との色差 E_{ab} を式(18)によって算出した。

$$E_{ab} = \left\{ (L_w - L_{D65})^2 + ((a_w - a_{D65})^2 + (b_w - b_{D65})^2) \right\}^{1/2} \quad (18)$$

系統分類基準を満たす風景画像を、系統ごとに3枚ずつ選定し使用画像データとした(図5参照)[20]。使用画像データの解析結果を表1に示す。昼白色風景の色差 E_{ab} は、4級の許容色差 ($E_{ab} < 5.0$) を満たして

図5 使用画像データ

表1 使用画像データの解析結果

画像No.	1	2	3	4	5
uv色度座標 U	0.190	0.193	0.192	0.231	0.216
uv色度座標 V	0.293	0.298	0.297	0.338	0.327
相関色温度	10108	8741	8811	3675	4601
E_{ab}	23.0	17.2	18.4	40.3	21.6

画像No.	6	7	8	9
uv色度座標 U	0.212	0.202	0.200	0.203
uv色度座標 V	0.324	0.312	0.309	0.314
相関色温度	4908	6246	6679	6012
E_{ab}	16.9	3.46	4.99	4.13

いる。また、赤被り風景の相関色温度はすべて6500K (D65の相関色温度) より低く、青被り風景の相関色温度はすべて6500 K より高い値を示していることがわかる。さらに、赤被り風景および青被り風景は、D65との色差 E_{ab} が16.9以上であった。

4. 色温度特徴に着目した背景差し替え法

本論文では、背景差し替え画像の違和感軽減を目的とし、カメラ画像の人物領域に対して色温度変換を行った。提案手法の概要を図6に示す。はじめに、前処理として、背景画像(人物のいない状態で取得したカメラ画像)を取得し、動的背景差分に用いる初期パラメータを算出した。また、背景画像と差し替え画像

図6 提案手法の概要

を用いて色温度変換行列を取得した。次に、カメラ画像に対して動的背景差分を施し、人物領域マスクを取得した。さらに、カメラ画像および人物領域マスクを用いて取得した人物領域に対し、色温度変換を施した。最後に、差し替え画像と人物領域マスクを用いて背景領域を取得した後、色温度変換結果と背景領域の論理和を背景差し替え画像として取得した。

4.1 前処理

動的背景差分(4.2節で後述する)の初期パラメータを取得するため、背景画像を複数枚取得した。具体的には、時系列的に連続した i 枚のカメラ画像をそれぞれグレースケールに変換し、これらを用いて平均背景画像 $\bar{I}$ と分散背景画像 σ を取得した。なお、背景画像の取得枚数 i を10, 20, 30として検討を加えたところ、それぞれの $\bar{I}$ および σ に顕著な差は見られなかった。そこで本論文では、前処理の所要時間が最も短くなる $i=10$ を用いた。

提案手法の色温度変換において、予め色温度変換行列を生成する必要がある。そこで、カメラ画像および差し替え画像を用いて色温度変換行列を生成した。はじめに、動的背景差分の前処理として取得した i 枚のカメラ画像の平均を算出し、平均RGB画像とした。次に、3.2節(1)「相関色温度の算出」に示す方法を用いて、平均RGB画像および差し替え画像の光源色の相関色温度をそれぞれ算出した。さらに、上記の相関色温度を基に、色温度変換モジュール(図2参照)を用いて色温度変換行列を生成した。

4.2 動的背景差分

カメラ画像中の背景が静的である場合、事前に用意した背景画像とカメラ画像の差分をとることで物体を抽出可能である。しかしながら、カメラや撮影環境に依存した明度変化に起因し、物体検出精度が低下する可能性がある。明度変化にロバストな物体検出法としては、動的背景更新による物体抽出法[4]がある。上記手法は、全方位画像を入力としているものの、画素単位に独立な処理であるため、通常のカメラ画像に対しても適用可能と考える。そこで本論文では、グレースケールに変換したカメラ画像を入力画像とし、動的背景更新による物体抽出法に基づいて人物領域マスクを取得した。入力画像中の背景画素 (x, y) の輝度を $I_{x,y}$ 、輝度値の時間平均を $\bar{I}_{x,y}$ 、輝度の振幅を $\sigma_{x,y}$ 、ならびにカメラに依存したノイズの最大値を ξ とした場合、 $I_{x,y}$ は式(19)の範囲をとり得る。

$$(\bar{I}_{x,y} - \sigma_{x,y} - \xi) \leq I_{x,y} \leq (\bar{I}_{x,y} + \sigma_{x,y} + \xi) \quad (19)$$

次に、入力画像において、式(19)を満たす画素を背景画素、それ以外を人物領域候補画素とした。すなわち、式(19)を満たす画素を黒(0)、それ以外を白(1)とする2値画像を人物領域候補画像として取得した。なお、 $\bar{I}_{x,y}$ および $\sigma_{x,y}$ の初期値は、4.1節で取得した平均背景画像 $\bar{I}$ および分散背景画像 σ を用いて設定した。さらに、人物領域候補画像を対象とし、OpenCV[21]の輪郭抽出処理を用い、連結した白画素の最外輪郭を人物領域候補ラベルとして取得した。また、最も面積の大きいラベルを人物領域とし、人物領域を白(1)、それ以外の領域(背景領域)を黒(0)とする2値画像を人物領域マスクとして取得した。なお、本論文では、カメラ画像のノイズが最大輝度値(255)の1~3%程度と仮定し、 ξ を3~8の1刻みで検討したところ、 ξ が5以上の場合に、人物領域マスクに対するノイズ低減の効果があることを認めた。そこで本論文では、雑音の最大値が5以下であると仮定し、 $\xi=5$ を用いた。

最後に、人物領域マスクの画素 $H_{x,y}$ に着目し、 $\bar{I}_{x,y}$ および $\sigma_{x,y}$ を更新した。具体的には、次のフレームの $\bar{I}_{x,y}$ 、 $\sigma_{x,y}$ をそれぞれ $\bar{I}'_{x,y}$ 、 $\sigma'_{x,y}$ とし、式(20)、(21)を用いて各パラメータを更新した。

$$\bar{I}'_{x,y} = \begin{cases} \frac{(n-1)}{n}\bar{I}_{x,y} + \frac{1}{n}I_{x,y} & (H_{x,y} = 0) \\ \bar{I}_{x,y} & (H_{x,y} \neq 0) \end{cases} \quad (20)$$

$$k = \begin{cases} n & (H_{x,y} = 0) \\ m & (H_{x,y} \neq 0) \end{cases},$$

$$\sigma'_{x,y} = \frac{(k-1)}{k}\sigma_{x,y} + \frac{1}{k}\sqrt{2(I_{x,y} - \bar{I}_{x,y})^2} \quad (21)$$

なお、 n 、 m はそれぞれ背景領域および人物領域の更新速度パラメータであり、 $m \geq n$ となるように設定する必要がある。本論文では、 $n=5$ 、 $m=1000$ を用いた。なお、 n と m はヒューリスティクスな実験の基に決定された値であるが、本論文の撮影環境においては十分に機能することを確認している。

4.3 背景差し替え画像の取得

4.2節で取得した人物領域マスクを用いてカメラ画像にマスク処理[5]を施した。すなわち、人物領域マスクの黒画素に対応したカメラ画像の画素を黒とすることで、人物領域を取得した。次に、人物領域の各画素に対して、式(1)を用いた人物領域の色温度変換を行い、色温度変換結果を取得した。このとき、変換行列 N は前処理で取得した色温度変換行列を用いた。また、階調反転した人物領域マスクを用いて、差し替

え画像に対するマスク処理を施し背景領域を取得した。最後に、色温度取得結果と背景領域の論理和を背景差し替え画像として取得した。

5. 実験方法

5.1 提案手法の効果に対する評価実験

本論文では、背景差し替えによる違和感軽減を目的とし、人物領域の色温度が差し替え画像の色温度と同一になるような色味変換を行う背景差し替え法を提案している。そこで、提案手法が背景差し替え映像に与える効果を検証するため、被験者14名（詳細は3.1節参照）を対象として評価実験を行った。具体的には、(1)変換行列 P (2.3節参照) としてBradford変換行列 P_B を用いた提案手法、(2)変換行列 P としてHPE変換行列 P_H を用いた提案手法、ならびに(3)色温度変換を行わない背景差し替え法による比較を行った。なお、上記(1)～(3)を用いて得られた背景差し替え映像をそれぞれ刺激A、刺激B、ならびに刺激Cとする。本論文では、上記刺激群を対象として、一対比較法[22]を用いた評価実験を行った。すなわち、刺激AとB、BとC、CとAの刺激組を対象とし、一定の基準に従って相対評価を行った。

刺激組に対する評価基準および評価実験手順を以下にまとめる。

(i) 刺激組に対する評価基準：評価実験の事前説明を行い、被験者には(a)被験者自身がビデオチャットの利用者であること、(b)通信相手に背景差し替え映像をリアルタイムに送信する場面であること、(c)風景画像の示す場所にいるような「臨場感」のある映像の送信を目的としていることを想定してもらった。さらに、人物領域と差し替え背景の光源色の差異に起因し、背景差し替え映像の臨場感が損なわれた場合、背景差し替え映像に対して視聴者が違和感を受ける場合のあることを説明した。このとき、臨場感の損失例として、「『曇天』のような青みを帯びたシーン下で取得した人物領域を、『夕焼け』のような赤みを帯びた風景画像に合成した場合」を挙げた。最後に、「人物領域の色味は、風景画像の光源色に合うような背景差し替え映像であるかどうか」を基準とし、背景差し替え映像から受ける違和感の少ない刺激名を評価結果として回答をお願いした。なお、刺激組に対して優劣がつけ難い場合は、「同程度である」との回答を許容した。また、事前説明は、上記内容をまとめた書面を用いて行い、各被験者に対して個別に行っている。

(ii) 刺激の評価手順：本論文では、スマートフォンやタブレット端末での利用を想定しているため、提案手法を組み込んだAndroidアプリケーションを用いて

図7 実験用アプリケーションのUI

評価実験を行った。実験用アプリケーションのユーザーインターフェース(UI)を図7に示す。また、9種類の風景画像を対象とし、3通りの刺激組を対象とした比較評価をそれぞれ行った。評価実験の手順を以下にまとめる。なお、1名の被験者について、各4回の評価実験を行っている。

- (1) 被験者は、カメラに映らない位置に移動した後、カメラビュー(図7参照)に対してダブルタップ操作を行い、前処理(4.1節参照)を実行する。なお、前処理が終わると同時に、背景差し替え映像が表示される。また、前処理の平均所要時間は約1.8秒であるものの、ヒアリング調査の結果、前処理にストレスを感じた被験者はいなかった。
- (2) 端末の前に移動し、背景差し替え映像を見ながら、画面中央に顔が位置するように椅子を調整する。
- (3) カメラビューに対して上方向へのフリック操作を行い、風景画像のみを表示する。
- (4) 風景画像を確認後、カメラビューに対して下方向へのフリック操作を行い、背景差し替え映像の表示に切り替える。
- (5) 刺激組の切り替えボタン(図7参照)を操作して表示される刺激の切り替えを行い、全3通りの刺激組に対する比較評価を行う。なお、被験者には、UI右下における黄色ラベルが表示中の刺激名を表すことを事前に説明している。
- (6) カメラビューに対して左右方向へのフリック操作を行い、風景画像を変更する。このとき、カメラビューには風景画像のみが表示される。なお、風景画像の順番はランダムに決定されている。
- (7) すべての風景画像に対する評価を終えるまで上記(4)、(5)、(6)の処理を繰り返す。

5.2 提案手法の実用化に関する検討

スマートフォンやタブレット端末では、画面を直接タッチして直感的に操作を行うため、ユーザインタフェース(UI)の使い易さがアプリケーションの使い易さに直接的な影響を与えると考える。そこで本論文では、提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションのUI作成を目的とし、被験者14名(5.1節と同様)を対象としてアンケート調査を行った。具体的には、被験者に実験用アプリケーションに対する要望や感想を自由回答してもらった。さらに、上記回答を考慮して提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションのUIを作成した(通話機能はない)。最後に、ビデオチャットの利用場面を想定し、作成したUIをスマートフォン(Samsung: SC-06D)上で操作してもらい、再びアンケート調査を行った。なお、SC-06DはMSM8960 1.5GHz(Dual Core)を搭載しており、画面サイズは1280×720(解像度319dpi)である。

6. 実験結果

6.1 提案手法の効果に関する実験結果

一対比較法で得られた評価結果に対して分散分析[23]を行い、刺激の差(手法)の効果が評価結果に与える影響について検討を加えた。具体的には、青被り風景、赤被り風景、昼白色風景、ならびに全ての風景を対象とした評価結果に対して、手法による効果と誤差による効果の分散比(F比)をそれぞれ算出した。得られた結果を表2にまとめる。この結果、評価手法の効果は、有意水準1%で有意であることがわかる。すなわち、評価結果は、背景差し替え法における色味変換の効果による影響を受けていることが明らかとなった。

表2 評価結果に対する分散分析結果

対象画像	刺激数	評価データ個数	F比
青被り風景	3	504	$F(2,501) = 14.7, P < 0.01$
赤被り風景			$F(2,501) = 14.3, P < 0.01$
昼白色風景			$F(2,501) = 24.6, P < 0.01$
全ての風景		1512	$F(2,1509) = 53.4, P < 0.01$

手法	青被り風景	赤被り風景	昼白色風景	全体
■ 手法1	2.79	1.58	-0.16	1.06
■ 手法2	0.92	1.21	-0.07	0.48
■ 手法3	-3.71	-2.79	0.22	-1.55

図8 間隔尺度を用いた手法の評価結果

評価結果をThurstoneの比較判断の法則[22]を用いて間隔尺度へ変換した。青被り風景、赤被り風景、昼白色風景、ならびに全ての風景を対象とした尺度図を図8に示す。なお、尺度値が正の方向に大きいほど、背景差し替えにおける違和感の軽減が行われていることを意味する。青被り風景、赤被り風景、ならびに全ての風景において、手法1(Bradford変換行列を用いた提案手法)および2(HPE変換行列を用いた提案手法)の尺度値は手法3(色温度変換を行わない手法)の尺度値よりも大きい値を示している。特に、全ての風景を対象とした場合において、手法1の尺度値が最大となった。このことは、色被りした風景を差し替え画像とした場合、提案手法は背景差し替え映像の違和感軽減が可能であること、手法1が最も有効であることを示唆している。

一方、昼白色背景における尺度値に着目すると、手法3が手法1, 2よりも大きな値を示している。しかしながら、尺度値の範囲(最大値と最小値の差)を比較すると、昼白色風景における尺度値範囲は、表3に示すように、他の画像群における尺度値範囲より約6倍以上小さいことがわかる。間隔尺度は、順序尺度のような大きさの順位づけが可能であることに加え、尺度値の差はどこでも等しいと仮定される[12, 24]。このため、昼白色風景を差し替え画像とした場合、色温度変換を行わない背景差し替え法が有効であると言えるものの、その効果は小さいと考える。

表3 尺度値の範囲

尺度値	青被り風景	赤被り風景	昼白色風景	全体
最大	2.79	1.58	0.22	1.06
最小	-3.71	-2.79	-0.16	-1.55
最大-最小	6.51	4.38	0.38	2.61

図9 背景差し替え画像例(被験者: 2, 刺激A~C)

背景差し替え画像例(刺激A～C)を図9に示す。差し替え画像に青被り風景を用いた場合、提案手法の色温度変換によって人物領域が青被りしている。また、赤被り風景を用いた場合も同様に、人物領域が赤被りしていることがわかる。昼白色風景を用いた背景差し替え映像はすべての刺激において顕著な色味の差異は見られなかった。このため、提案手法を用いた色温度変換によって、昼白色風景を用いた背景差し替え映像の臨場感が損なわれることは少ないと考える。

以上の結果は、差し替え画像に色被りした風景画像を用いた場合、提案手法による背景差し替えにおける違和感軽減が可能であることを示唆している。

6.2 提案手法の実用化に関する検討結果

実験用アプリケーションに対し、以下のような要望・感想を得た。

- ボタンが小さいので大きくした方がよい。
- 背景差し替えの準備(前処理)機能を有するボタンを用意して欲しい。
- 色変換機能の状態を示すアイコンを見えやすい位置に配置した方がよい。
- 操作説明があれば便利だと思う。

また、スマートフォンはタブレット端末よりも画面が小さいため、映像を大きく表示した方が見やすいと考える。

そこで本論文では、上記内容を考慮し、提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションのUIを作成した(図10参照)。各機能の切り替えボタンを図11に、ポップアップダイアログを用いたボタンの機能説明例を図12にそれぞれ示す。なお、ボタン以外の部分をタップすることで、各ボタンと自分の映像(図10①～⑤)の表示・非表示を切り替え可能である。また、カメラ映像はバイリニア補間[5]による拡大処理を施し、全画面(HD:1280×720)に表示している。さらに、取得映像サイズをQVGA(320×240)に変更することで、全画面表示に伴う負荷を軽減した。

作成したUIをスマートフォン上で操作してもらい、カメラ映像のサイズ・画質、各種ボタン等の表示・非表示機能について質問を行った(表4参照)。さらに、UIの使い勝手に関して要望や感想を自由回答してもらった。なお、カメラ映像の評価のため、図10⑥に自分の映像を表示し、図10⑤にはビデオチャット中であることを想定し、事前に用意した人物画像を表示させた。質問票に対する回答結果を表5に示す。また、アンケートの回答結果を以下にまとめる。

(1)カメラ映像のサイズに関する回答:13名がサイズに関して「ちょうどよい」と回答し、14名全員が「特

図10 ユーザインタフェース例

図11 切り替えボタンの詳細

図12 ポップアップダイアログを用いた機能説明例
(背景差し替えボタンをタップした場合)

にストレスはなかった」と回答した。このため、カメラ映像は全画面表示で問題ないと考える。

(2)カメラ映像の画質に関する回答:14名中10名が「とても良い」「ちょうどよい」と回答した。さらに、14

表4 質問票

質問	選択肢
1 カメラ映像のサイズについてどう感じたか	A.より大きい方がよい, B.ちょうどよい, C.より小さい方がよい
2 カメラ映像のサイズに起因してストレスを感じたか	A.とてもストレスを感じた, B.すこしストレスを感じた, C.特にストレスはなかった
3 カメラ映像の画質についてどう感じたか	A.とてもよい, B.すこしよい, C.ちょうどよい, D.すこし悪い, E.とても悪い
4 カメラ映像の画質に起因してストレスを感じたか	A.とてもストレスを感じた, B.すこしストレスを感じた, C.特にストレスはなかった
5 画面をタップすることで、各種ボタンの表示・非表示を切り替える機能についてどう感じたか	A.とてもよい, B.すこしよい, C.ちょうどよい, D.すこし悪い, E.とても悪い

表5 質問票に対する回答結果

質問No.	選択肢				
	A	B	C	D	E
1	1	13	0		
2	0	0	14		
3	2	0	8	4	0
4	0	2	12		
5	5	3	5	1	0

(名)

名中12名は「特にストレスはなかった」と回答しており、映像画質は実用上の許容範囲内であると考える。

(3) 各種ボタンの表示・非表示機能に関する回答：14名中8名が「とても良い」「少し良い」と回答した。また、「ボタンを非表示にすることで相手との会話に集中しやすくなる」などの自由回答を得ており、映像を全画面表示しつつ、ボタン操作が行える点が良いと評価されていることがわかる。「すこし悪い」と回答したのは1名であり、具体的には、ボタン操作時に表示・非表示の切り替え機能が誤動作する点を指摘している。また、自分の映像と各種ボタンを別々に表示・非表示できれば良いとの回答も得ており、これらの改善を行った(図12参照)。

以上の結果は、作成したUIが提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションにおいて実用可能であることを示唆している。

7. まとめ

本論文では、ビデオチャットにおけるプライバシー配慮およびエンターテインメント性向上を目的とし、色温度特徴に着目した背景差し替えの違和感軽減法を提案した。また、スマートフォンやタブレット端末での利用を想定し、提案手法を組み込んだAndroidアプリケーションを作成した。本論文で得られた成果を以下にまとめる。

- 色温度特徴に着目し、人物領域の光源色が差し替え画像の光源色と同一となるような色味変換(色温度変換)を施し、背景差し替え映像の違和感軽減を行う手法を提案した。
- 被験者14名を対象とした評価実験の結果、色被り

した風景画像を利用した背景差し替えにおいて、提案手法は人物領域と差し替え画像の色味の差異に起因した背景差し替え映像の違和感を軽減可能であることを明らかにした。

- 提案手法を組み込んだAndroidアプリケーションは、スマートフォンやタブレット端末で利用可能であることを明らかにした。
- 被験者14名のフィードバックに基づいたユーザインタフェース(UI)の改良を反復して行い、提案手法を組み込んだビデオチャットアプリケーションにおいて実用可能なUIを作成した。

本論文では、差し替え画像として、全体が青被りまたは赤被りした風景画像を用いた。しかしながら、青色と赤色が混在した空模様や色の偏りのある建物や看板などを含む人工風景など、風景画像は多種多様である。今後は、提案手法の汎用性の向上を目的とし、風景画像の光源色推定法の改良について検討を加える予定である。また、差し替え画像として、静止画に加えて動画も利用可能であるため、提案手法を動画像に適用する方法についても検討を加える予定である。さらに、処理速度向上のための改良、多様なオブジェクトを背景に含むカメラ映像を対象とした人物抽出法についても検討を加える予定である。

謝辞

日頃有益なご助言を賜っております本学大学院工学資源学研究科石沢千佳子助教および高橋毅技術専門職員に謝意を表します。

参考文献

- [1] Skype: <http://www.skype.com/en/>
- [2] Ustream: <http://www.ustream.tv/>
- [3] 川端敦・谷藤真也・諸岡泰男:「移動物体像の抽出技術」, 情報処理, Vol.28, No.4, pp.395-402, 1987.
- [4] 森田真司・山澤一誠・寺沢征彦・横矢直和:「全方位画像センサを用いたネットワーク対応型遠隔監視システム」, 信学論 (D-II), Vol. J88-D-II, No.5, pp.864-875, 2005.
- [5] 高木幹雄・下田陽久:「新編 画像解析ハンドブック」, 東京大学出版会, 2004.
- [6] 山下淳・縣弘樹・金子透:「動的輪郭モデルを用いたストライプ状クロマキー」, 映像学誌, Vol.61, No.2, pp.189-197, 2007.
- [7] iChat: <http://support.apple.com/kb/PH5601>
- [8] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos: "Snakes: Active contour models", International Journal of Computer Vision, Vol.1, No.4, pp.321-331, 1988.
- [9] 市川芳邦:「画像処理装置および画像処理方法」, 特許第4447520号, 2010-04-07.
- [10] 大田登:「色彩工学 第2版」, 東京電機大学出版局, 2005.

- [11] 篠田博之・藤枝一郎：「色彩工学入門」，森北出版株式会社，2007.
- [12] 日本色彩学会：「新編 色彩科学ハンドブック【第3版】」，東京大学出版，2011.
- [13] JIS Z 8725：「光源の分布温度および色温度・相関色温度の測定方法」，1987.
- [14] 塚田正人・大田友一：「記憶色に基づく色再現とその高画質化応用」，映情学論，Vol.60, No.3, pp.348-357, 2006.
- [15] 富永昌治・石田救史・B.A. Wandell：「センサ相関法によるシーン照明の色温度推定」，信学論，Vol.J-85-D-II, No.5, pp.886-897, 2002.
- [16] Android: <http://www.android.com/>
- [17] JIS X 9207：「画像技術における色管理—体系，プロフィール書式及びデータ構造—第一部：ICC. 1：2010」，2010.
- [18] R. W. G. Hunt and M. R. Pointer: "A colour-appearance transform for the CIE 1931 standard colorimetric observer", Color Research & Application, Vol.10, No.3, 1985.
- [19] JIS C 7612：「照度測定方法」，1985.
- [20] Tomo.Yun：「ゆんフリー写真素材集」，
<http://www.yunphoto.net/>
- [21] Willow Garage: <http://www.willowgarage.com/>
- [22] 田中良久：「心理学的測定法」，東京大工出版，1977.
- [23] 石川馨・米山高範：「分散分析法入門」，日科技連出版，1967.
- [24] 飯田健夫：「感覚生理工学」，コロナ社，2009.
(2012年12月4日 受付)
(2013年2月27日 採録)

[問い合わせ先]

〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町1-1
秋田大学大学院工学資源学研究科情報工学専攻
景山 陽一
TEL：018-889-2786
FAX：018-837-5771
E-mail：kageyama@ie.akita-u.ac.jp

著者紹介

むらかみ たつき
村上 龍希 [非会員]

2012年、秋田大学大学院工学資源学研究科博士前期課程情報工学専攻修了。同年、秋田大学大学院工学資源学研究科博士後期課程電気電子情報システム工学専攻入学。現在に至る。画像処理による人物画像の印象評価・向上に関する研究に従事。情報処理学会の会員。

かげやま よういち
景山 陽一 [正会員]

1997年秋田大学大学院鉱山学研究科博士前期課程情報工学専攻修了。同年秋田大学助手。2001年講師。2004年助教授。2013年、秋田大学大学院工学資源学研究科教授。現在に至る。リモートセンシングデータの解析技術とアルゴリズムの開発、情景画像における物体認識に関する研究に従事。博士(工学)。1998年国際素材物性学会議優秀論文賞、1999年電気学会東北支部優秀論文賞、情報処理学会東北支部奨励賞、2000年日本素材物性学会優秀論文発表賞受賞。電気学会、情報処理学会、電子情報通信学会、映像情報メディア学会、照明学会などの会員。

にしだ まこと
西田 眞 [正会員]

1974年秋田大学鉱山学部電気工学科卒業。同年トヨタ自動車工業(株)入社。1975年秋田大学鉱山学部助手。講師、助教授を経て、1996年同教授。2007年総合情報処理センター長。2008年工学資源学部長。2010年工学資源学研究科長。2011年秋田大学理事・副学長。現在、秋田大学大学院工学資源学研究科教授。リモートセンシングデータの解析技術とアルゴリズム、画像情報応用および知識情報システムの研究に従事。工学博士。1988年～1989年クラークソン大学客員研究員。1984年電気学会論文賞、1988年静電気学会論文賞、1988年国際素材物性学会議優秀論文賞、2013年日本素材物性学会平成25年度(第23回)山崎賞受賞。電気学会、情報処理学会、映像情報メディア学会、照明学会、IEEEなどの会員。

Uncomfortable Feeling Reduction of Background Replacement on the Basis of Features of Color Temperature

by

Tatsuki MURAKAMI, Yoichi KAGEYAMA and Makoto NISHIDA

Abstract :

When using video chat, you may send private information to other party with background information (e.g, inside office) of the video that is not processing. To cope with this problem, it is effective to replace background information excluding an object with any image according to the purpose. In addition, the background replacement that replaces video background with a landscape image can do video chat with "Feeling like you are at the location shown in the image". However, if it applies the background replacement to the video chat, uncomfortable feeling will be caused by the chroma difference between a human region of camera image and a new background image (e.g, a landscape image). This chroma difference can be caused by the difference of color temperature of the light source when capturing images. In this paper, we proposed a method of the uncomfortable feeling reduction of background replacement on the basis of features of color temperature.

The algorithm comprises three steps. First, it initialized parameters of the adaptive background subtraction, which is a method to extract human region from camera image as a pre-process phase. It also generated a matrix for the chromatic adaptation transform (CAT) with the color temperature estimated from the camera image and a new background image. Next, the human region was extracted from the camera image by the background subtraction, and it applied the CAT to this region. Finally, it extracted the background region from the new background image using the background subtraction result. Moreover, it obtained the background replacement results as a logical sum of the result by the CAT and the background region.

The results of experiment conducted with 14 evaluators for analyzing images suggest that the proposed method can reduce uncomfortable feeling of background replacement.

Keywords : Video chat, Background replacement, Uncomfortable feeling reduction, Color temperature

Contact Address : **Yoichi KAGEYAMA**

Department of Computer Science and Engineering, Graduate School of Engineering and Resource Science, Akita University

1-1, Tegata Gakuen-Machi, Akita, 010-8502, JAPAN

TEL : 018-889-2786

FAX : 018-837-5771

E-mail : kageyama@ie.akita-u.ac.jp