

色変換と色照射による可視光で撮影された静脈画像の鮮明化

岩田 英三郎^{1,a)} 釜中 博樹¹ 渡邊 瑞己² 長谷川 誠³

受付日 2015年12月28日, 採録日 2016年7月5日

概要: 可視光で撮影された静脈画像の鮮明化について検討する. カラーで撮影された静脈画像の色信号 (RGB 表色系の赤, 緑, 青, CMYK 表色系のシアン, マゼンダ, イエロー, 黒) を混合し, 白黒濃淡の静脈画像を生成する方法を提案する. 静脈画像と近赤外線撮影した静脈画像が近似するように, 色信号の混合変換における変換係数を調整する. 皮膚に特定色の可視光を照射することによって静脈画像を鮮明化する方法を提案する. 各種変換係数の調整をシミュレーションし, 静脈認証に適用した際の認識率について考察する.

キーワード: 静脈, 可視光, 色変換, 色照射, 鮮明化

Enhancement for Visible Light Photographic Vein Image Using Color Conversion and Color Irradiation

EIZABURO IWATA^{1,a)} HIROKI KAMANAKA¹ MIZUKI WATANABE² MAKOTO HASEGAWA³

Received: December 28, 2015, Accepted: July 5, 2016

Abstract: Methods of image enhancement for visible light photographic vein image are discussed. We propose methods of color signal blending on a photographic color vein image (RGB color system of red, green, blue, CMYK color system of cyan, magenta, yellow, and black) to generate a grayscale vein image. The coefficients in the blended color signals are adjusted so that the grayscale vein image is approximated to a near infrared vein image. A method of image enhancement by irradiating the specific color of the visible light to the skin is also proposed. The optimization of various transform coefficients for the vein authentication are executed.

Keywords: Vein, visible light, color conversion, color photoirradiation, and image enhancement.

1. はじめに

近年, スマートフォンやタブレットが普及し, これらの端末を利用した種々な情報通信技術やサービスが開発され, 利用されるようになってきた. こうした環境の中で利用者個人を特定し, セキュリティを保つ需要が高まり, 特に, 生体認証技術の活用が期待されている [1], [2], [3]. こ

れまで, 一部の機種では指紋認証が採用され, 指紋を採取するための専用センサが端末に搭載された. しかし, 専用センサの搭載には高コストを要し, またそのセンサは指紋撮影にしか使えない. 端末の小型化にも不利である. シリコン素材に指紋の凹凸を付けた疑似生体によって, なりすまし攻撃が可能である [4]. そこで, 携帯端末に従来から搭載されているデジタルカメラを用いて静脈認証するシステムが期待される.

しかし, 従来の静脈認証技術では, 可視光ではなく, 近赤外線を用いなくては静脈を撮影できないと考えられてきた. 近赤外線は, 生体内を透過しやすく, 体内で反射するが, 一方, 血中のヘモグロビンによって吸収される [5]. したがって, 皮膚は明るく, 静脈は暗い映像が得られる. この場合, 近赤外線による撮影が可能な専用の装置が必要

¹ ユニバーサルロボット株式会社
Universal Robot Co. Ltd., Chuo, Tokyo 103-0015, Japan
² 東京電機大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Tokyo Denki University,
Adachi, Tokyo 120-8551, Japan
³ 東京電機大学工学部
School of Engineering, Tokyo Denki University, Adachi,
Tokyo 120-8551, Japan
a) eiza@urobot.co.jp

となる。佐々木らは、近赤外線を用いた非接触型の掌静脈認証装置を提案し、その装置は銀行などで利用されている [6]。本人拒否率を 0.001% とする場合、他人受入れ率は 0.00008% 以下でありきわめて認識率が高い。ところが、一般的なデジタルカメラでは近赤外線を撮影する機能はなく、さらに赤外線カットフィルタが入っているために近赤外線を遮断してしまう。

携帯端末に搭載されているデジタルカメラは可視光による撮影装置であることから、筆者らは可視光の制限化で静脈を識別するアルゴリズムについて検討してきた [7], [8], [9], [10]。これまでは、主に静脈の位置ずれに頑健なマッチング方法の検討であり、静脈の抽出、鮮明化に関しては RGB 表色系のカラー画像をそのまま用いるか、いくつかの色成分を経験的に配合しているにすぎない。そこで、本稿では手首静脈の鮮明化について考察する。カラーで撮影された静脈画像の色信号 (RGB 表色系の赤, 緑, 青, CMYK 表色系のシアン, マゼンダ, イエロー, 黒) を配合させて変換し、静脈を鮮明に表示する方法について検討する。ここでは、変換結果と近赤外線による静脈画像との誤差が最小になるように近似させ、色を配合させる割合 (変換係数) を全探索して決める。近赤外画像は肌の色に依存しない。したがって、近似画像は肌の色によらない静脈画像が得られることになる。なお、実際には静脈認証では近赤外線は使えないため、実験によって定められた変換係数を用いて静脈画像を鮮明化する。

配合する色空間の次元数が多いほど近似精度は高くなるが、変換係数の全探索には膨大な時間を要する。変換係数のダイナミックレンジとサンプリングにもよるが、1 変数 0.01 刻みに 100 サンプリングする場合、1 変数増えるごとに 100 倍の時間がかかり、RGB 表色系 3 色 3 変数の配合であっても 1 試行錯誤の 1,000,000 倍の時間を要する。静脈認証時に変換係数を調整するなどの拡張機能は現段階では想定していないため、事前の算出でかまわないが、数多くの条件下での事例を蓄積し、逐次事例を適用、静脈照合性能を高めることが求められている。そこで、不必要な色成分を検討の対象から外すことや、必要な色成分を特定するノウハウが重要となる。ここでは、検討事例として、RGB 表色系のうち赤と緑を配合する方法 [方法 1] について述べる。静脈の表現に青色成分の寄与は少なく配合成分から除去することが可能であること、1 変数で 2 色配合する手順について示す。また、CMYK 表色系を含め、黄と赤を配合する方法 [方法 2] を示す。我々は黄色と赤色が皮膚の色を示し、その補色が静脈を示すことを経験的に得ており、その効果を実験で示す。さらに、HSV 表色系も含め、多くの変換係数を用いる方法 [方法 3] を示す。3 つの方法を用いた認識精度について報告する。

ところで、皮膚に特定色の可視光を照射することによって静脈を鮮明に表示することが可能である。スマートフォ



図 1 携帯端末による手首静脈の撮影
Fig. 1 A wrist vein taken by a mobile device.

ンには、カメラの照射用 LED フラッシュライトが装備されており、現在においても懐中電灯として利用できるほど、その輝度は高い。また、現状の LED フラッシュライトは白色光のみの照射であるが、種々の色を照射できる LED 製品もあることから、近い将来、特定色の照射が可能となると見込まれる。そこで、ここでは 1,600 万色の照射が可能な LED 電球を用いて、照射色を変動させながら静脈画像の鮮明さを分析し、最適な表示色と、その効果について明らかにする。

次の 2 章では、携帯端末で手首静脈を撮影する方法について述べる。また、可視光によって撮影された静脈画像から静脈を鮮明化する方法を 3 章に示す。変換係数の調整方法について 4 章に示す。可視光の照射による静脈の鮮明化について 5 章で述べる。ラドン変換を用いて静脈を照合した結果を 6 章に示す。

2. 携帯端末による手首静脈の撮影

図 1 に示すように、携帯端末のカメラによって手首静脈を撮影する。撮影された画像はカラー画像である。端末画面には手首のガイドが表示されており、これを利用して利用者は手首の位置を合わせる。このとき、端末と手首との距離はおおむね 10 cm 程度になる。手はなるべく胸よりも下に降ろして撮影する方がよい。手を心臓よりも高く上げてしまうと、静脈が薄く消えてしまうためである。また、手首を若干曲げたほうが静脈が浮き出る。図 2 は手首静脈の撮影結果である。手首は肌色、静脈は青系統の色に見える。

3. 色変換による鮮明化

手首静脈のカラー画像から静脈領域を切り出して色変換し、白黒濃淡画像を生成する。ここでは、画像領域内の二次元座標を (x, y) とし、各座標における赤, 緑, 青の輝度値を、それぞれ $R(x, y)$, $G(x, y)$, $B(x, y)$ と示す。各輝度値は 0 から 255 までの整数をとる。



図 2 手首静脈のカラー画像
Fig. 2 A color image of wrist vein.

3.1 赤緑 2 色配合による方法 [方法 1]

静脈は青く見えるが、それは錯視であり、静脈の青色成分が強いわけではない。皮膚に透過した可視光のうち、赤や緑の光の多くは血中のヘモグロビンに吸収されるが、青い光は静脈に届く前に皮膚内の様々な粒子によって散乱されて戻ってくる。すなわち、静脈が青く見えるのは、静脈が青い光を多く出すわけではなく、赤色成分の著しい減少によるものである [11], [12]。図 3 に示すように、赤色成分が最も静脈を表している。緑色成分は静脈をわずかに示し、青色成分は皮膚全体と変わらない。すなわち、静脈の青色成分は他の皮膚部分と同程度であり、特に高いわけではないことが分かる。なお、本稿では 6.1 節において、静脈の鮮明化に青色成分が不必要であることを実験で明らかにする。

そこで、ここでは $R(x, y)$ 成分と $G(x, y)$ 成分を用いて静脈画像を生成する。

$$F(x, y) = (1 - \alpha)R(x, y) + \alpha G(x, y) \quad (1)$$

の変換により、静脈画像 $F(x, y)$ が得られる。なお、変換係数 α は $R(x, y)$ 成分と $G(x, y)$ 成分の比 $(1 - \alpha) : \alpha$ を示し、適切な値を定める必要がある。2 色配合の場合、1 つの変換係数 α の調整でまかなえる利点は大きい。

3.2 赤黄 2 色配合による方法 [方法 2]

静脈画像を YMCK 表色系に変換した結果を図 4 に示

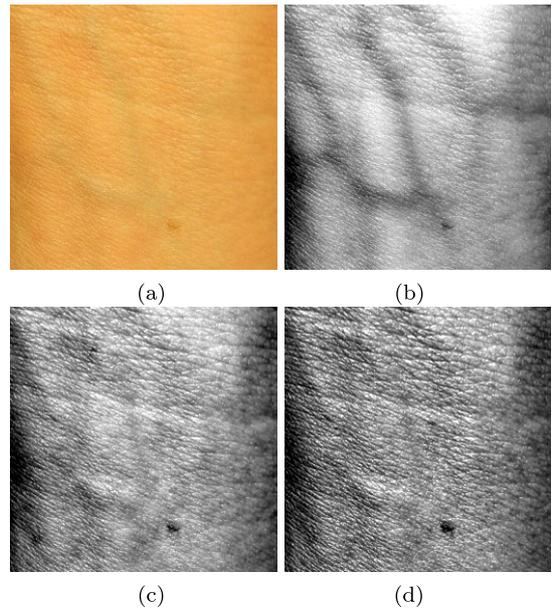


図 3 (a) 静脈のカラー画像；(b)–(d) カラー画像の各色成分（赤，緑，青）
Fig. 3 (a) A color image of a vein and (b)–(d) its color components (red, green, and blue).

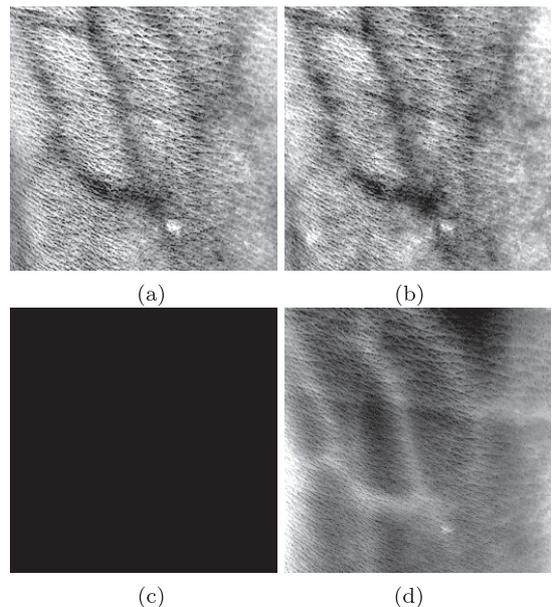


図 4 (a)–(d) カラー画像の各色成分（黄，マゼンダ，シアン，黒）
Fig. 4 (a)–(d) Color components (yellow, magenta, cyan, and black).

す。この表色系では、黄色成分が最も静脈を鮮明に表している。黄色の色相は静脈の表現にすぐれていることが北岡によって指摘されており [11]，また、我々は黄色と赤色が皮膚の色を示し、その補色が静脈を示すことを経験的に得ている。そこで、静脈画像を生成するために

$$F(x, y) = (1 - \alpha)R(x, y) + \alpha Y(x, y) \quad (2)$$

と変換する。なお、この変換も 2 色配合であり、1 つの変換係数 α の調整でまかなえる利点は大きい。本稿では 6.2 節

において, [方法 1] を拡張するかたちで黄色を追加する変換を考え, 緑色は不必要, 黄色と赤色で静脈画像を効率的に表現できることを示す. RGB 表色系から CMYK 表色系への変換は, はじめに黒色 $K(x, y)$ を,

$$\begin{aligned} C' &= 255 - R \\ M' &= 255 - G \\ Y' &= 255 - B \\ K &= \min(C', M', Y') \end{aligned} \quad (3)$$

と算出し,

$$\begin{aligned} C &= C' - K \\ M &= M' - K \\ Y &= Y' - K \end{aligned} \quad (4)$$

とする. なお, ここでは赤色成分 $R(x, y)$ を単に R と表記する (その他の色についても同様に簡略化して表示する). ところで, ここでの黄色成分 Y は, CMY 表色系の黄色ではなく, 青色 B の単純な補色ではない. 式 (2) を式 (3), (4) を用いて書き直すと,

$$\begin{aligned} F(x, y) &= (1 - \alpha)R(x, y) - \alpha B(x, y) + 255\alpha \\ &\quad - \alpha K(x, y) \end{aligned} \quad (5)$$

となり, RGB 表色系で単純に表すことはできない.

3.3 HSV 表色系を含む多色配合による方法 [方法 3]

静脈の彩度は低い. 同系色で彩度が低い色は, 反対色に見える錯視が生じる. すなわち, 静脈は, 肌色の反対色に見える傾向がある [11]. 我々は, RGB 表色系から HSV 表色系に変換し, 彩度 S と, さらに色相 H を調整し, 静脈画像を生成する. RGB 表色系を HSV 表色系への変換は,

$$\begin{aligned} H &= \begin{cases} \frac{60 \times (G - B)}{M - N} & (R = M) \\ \frac{60 \times (B - R)}{M - N} + 120 & (G = M) \\ \frac{60 \times (R - G)}{M - N} + 240 & \text{otherwise} \end{cases} \\ S &= M - N \\ V &= M \end{aligned} \quad (6)$$

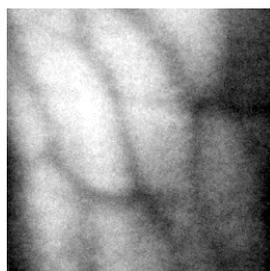


図 5 近赤外線静脈画像

Fig. 5 A near-infrared image of the vein.

である. なお, $M = \max(R, G, B)$ であり, $N = \min(R, G, B)$ である. 色相 H と彩度 S を

$$\begin{aligned} H(x, y) &\leftarrow H(x, y) + \beta_1 \\ S(x, y) &\leftarrow S(x, y) + \beta_2 \end{aligned} \quad (7)$$

と変換する. ここでの β_1, β_2 は変換係数であり, 適切な値を定める必要がある. HSV 表色系から RGB 表色系, CMYK 表色系に変換し,

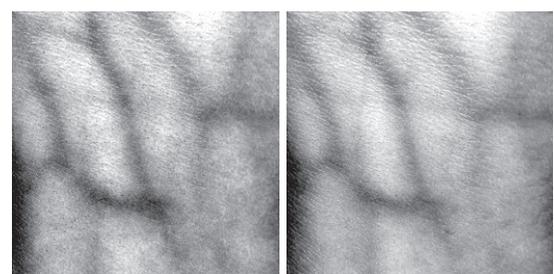
$$\begin{aligned} F(x, y) &= \left(1 - \sum_{n=1}^6 \alpha_n\right) R(x, y) + \alpha_1 G(x, y) \\ &\quad + \alpha_2 B(x, y) + \alpha_3 Y(x, y) \\ &\quad + \alpha_4 M(x, y) + \alpha_5 C(x, y) \\ &\quad + \alpha_6 K(x, y) \end{aligned} \quad (8)$$

によって静脈画像 $F(x, y)$ を生成する.

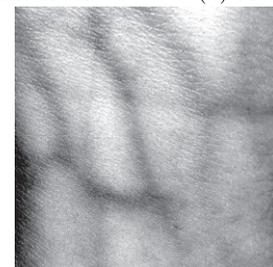
4. 変換係数の調整

近赤外線によって撮影すると, 静脈が鮮明に表示できる. そこで, ここではデジタルカメラの赤外線カットフィルタを除去し, 代わりに近赤外線透過フィルタ (富士フィルム: IR76; 波長 0~760 nm の可視光を遮断, それ以外を透過) を装着する. 近赤外線投光器で手首に近赤外線を照射して静脈を撮影する. 近赤外線は, 生体内を透過しやすく, 体内で反射するが, 一方, 血中のヘモグロビンによって吸収される. したがって, 皮膚は明るく, 静脈は暗い画像が得られる. 近赤外線による静脈画像を図 5 に示す. 静脈が鮮明に表示されている.

3 章で述べた [方法 1] から [方法 3] について, 変換された静脈画像と近赤外線画像との誤差が最小になるように



(a) Method 1 (b) Method 2



(c) Method 3

図 6 (a)-(c) 各方法による静脈画像

Fig. 6 (a)-(c) Vein images using each method.

変換係数を調整する．静脈画像を $F(x, y)$ ，近赤外線画像を $I(x, y)$ とすると，変換された静脈画像と近赤外線画像との平均誤差 $E(\alpha_1)$ は，

$$E(\alpha_1) = \frac{1}{N} \sum_{(x,y) \in R} |F(x, y) - I(x, y)| \quad (9)$$

となる．なお，ここでの R は画像領域を示し， N は領域内の画素数を示す．平均誤差が最小となる変換係数を最適値とする．[方法 1] の場合，変換係数は α_1 の 1 つであり，

$$\alpha_1 = \arg \min_{\alpha_1} E(\alpha_1) \quad (10)$$

である．変換結果を調整した結果を図 6 に示す．

5. 色照射による鮮明化

皮膚に特定色の可視光を照射すると，静脈を鮮明に撮影することが可能となる．ここでは，1,600 万色の照射が可能な LED 電球を用いて，照射色を変動させながら静脈画像を比較する．照射色については，HSV 表色系における彩度と明度を最大値とし，色相 γ を 0 ~ 359 度まで変化させる．各投影色において，静脈画像と近赤外線画像との誤差を算出する．誤差が最小となる最適な投影色を算出する．投影色調整の結果を 6 章で述べる．

6. 実験

6.1 [方法 1] における青色成分の除去と変換係数 α の算出

青は静脈を鮮明化するために必要のない色成分であるとして [方法 1] では除去している．ここでは，青成分も含めて

$$F(x, y) = (1 - \alpha_1 - \alpha_2)R(x, y) + \alpha_1 G(x, y) + \alpha_2 B(x, y) \quad (11)$$

と変換する方法について考え，青成分の除去が可能であることを検証しよう．2 つの変換係数 α_1, α_2 を変動させながら，近赤外線画像との誤差 $E(\alpha_1, \alpha_2)$ を算出した結果を図 7 に示す．変換係数 α_2 を減少させると誤差 $E(\alpha_1, \alpha_2)$ は単調に減少しており，誤差 $E(0.3, 0.0)$ が最小値である．すなわち，青色成分は不必要であり，変換係数 α_2 を 0 と固定し，式 (1) のように考えてもよいことが分かる．変換係数 α_1 の最適値は 0.3 であり，誤差 $E(0.3, 0.0)$ は 36.14 である．最適な静脈画像を作るためには，赤色成分 70%，緑色成分 30% の配合となる． α_2 を 0 に固定し， α_1 を変動させながら生成した静脈画像を図 8 に示す． α_1 が 0.3 の静脈画像が近赤外線画像に最も近似している．

6.2 [方法 2] における緑色成分の除去と変換係数 α の算出

[方法 1] に黄色を追加する変換

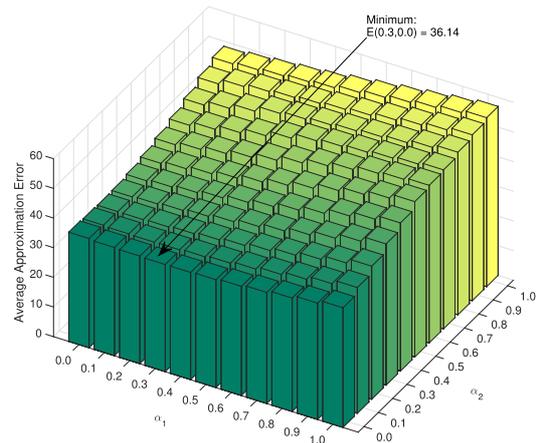


図 7 [方法 1] における変換係数の値と平均近似誤差
Fig. 7 The average approximation error against the value of the coefficients in [Method 1].

$$F(x, y) = (1 - \alpha_1 - \alpha_2)R(x, y) + \alpha_1 G(x, y) + \alpha_2 Y(x, y) \quad (12)$$

について考える．2 つの変数 α_1, α_2 を変動させながら，近赤外線画像との誤差 $E(\alpha_1, \alpha_2)$ を算出した結果を図 9 に示す．変換係数 α_1 が 0，変換係数 α_2 が 0.4 の誤差 $E(0.0, 0.4)$ が最小値となる．すなわち，緑色成分は不必要であり，変換係数 α_1 を 0 と固定し，式 (2) のように考えてもよいことが分かる．黄色成分 40%，赤色成分 60% の配合によって肌色を表し，その補色で静脈を表現する．誤差 $E(0.0, 0.4)$ は 33.93 であり，赤色と緑色を用いる [方法 1] よりも近赤外線画像との誤差は小さい．

6.3 照射色の調整

白色光を投影した場合と，色相が $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ の有色光を投影した場合の手首画像の例を図 10 に示す．ここでは，被験者 5 名の両手首合計 10 静脈 (A~J) について [方法 3] を適用し，有色光を投影した場合の静脈画像と近赤外線画像との誤差 e を算出し，表 1 に示す．なお，各静脈における誤差の最小値に*をつける．ほとんどの静脈は赤色光 (色相 0°) を投影すると誤差が最小になる．また，紫光 (色相 $270^\circ, 315^\circ$) を投影すると誤差が最小になる稀な事例が 2 件ある．各有色光を投影した場合の平均誤差も示す．赤色光 (色相 0°) を投影する場合，平均誤差が最小になることが分かる．また，白色光を投影する場合よりも小さい．各静脈について，誤差のバリエーションが多少大きいため，平均 μ と標準偏差 σ を算出し，

$$\epsilon = \frac{e - \mu}{\sigma} \quad (13)$$

と正規化し，各有色光を投影した場合の正規化誤差の平均 $\text{ave}(\epsilon)$ も示す．赤色光 (色相 0°) を投影する場合は -1.10 であり，全体の平均よりも標準偏差以上誤差が減少してい

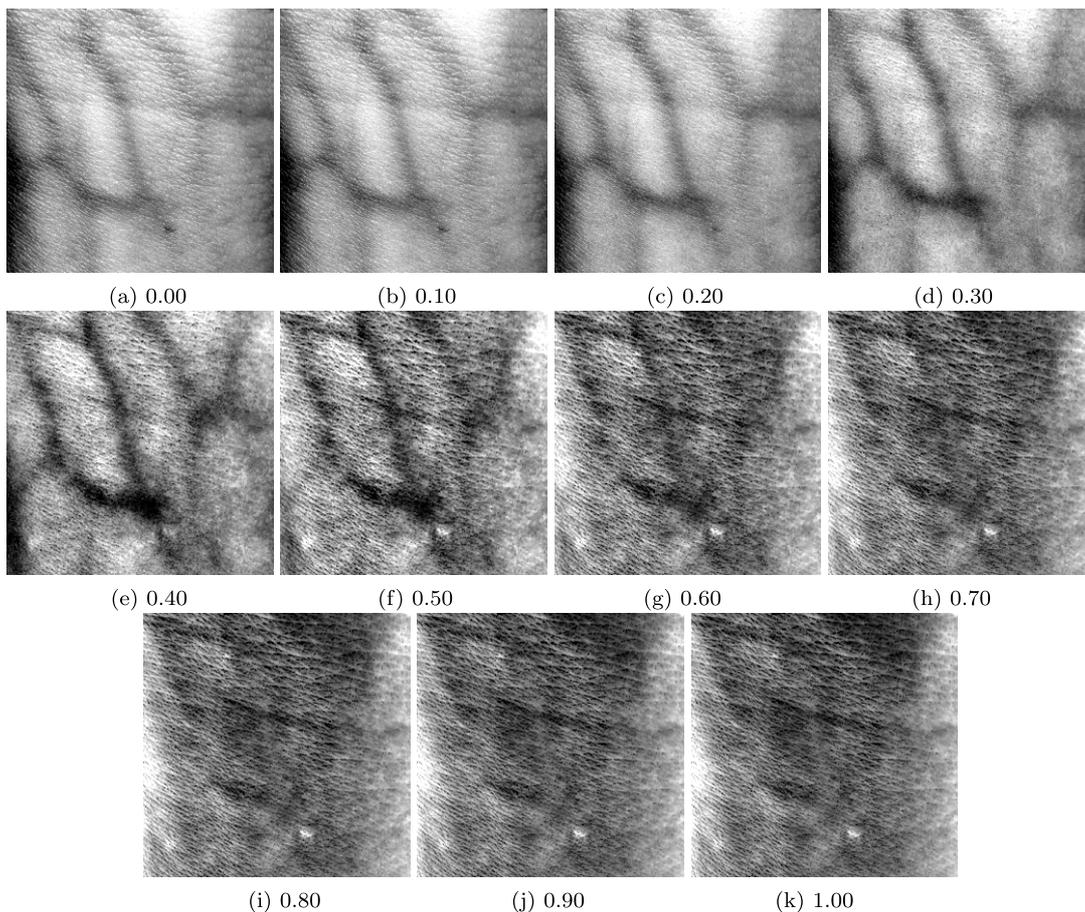


図 8 [方法 1] における変換係数 α_1 の値と静脈画像
 Fig. 8 Vein images against the value of α_1 in [Method 1].

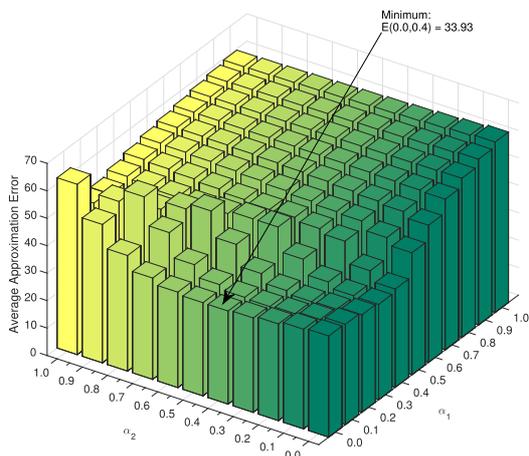


図 9 [方法 2] における変換係数の値と平均近似誤差
 Fig. 9 The average approximation error against the value of the coefficients in [Method 2].

ることが分かる．白色光を投影する場合は -0.07 であり，その差は大きい．赤色光を投影することによる改善効果が確認できる．カメラの照射用 LED フラッシュライトや，タブレットのディスプレイに最適な投影色を表示し，静脈を鮮明化することが可能である．

6.4 静脈の照合

2枚の静脈画像（テンプレートとクエリ）をそれぞれラドン変換し，変換結果どうしの誤差から類似度を算出する．ラドン変換を用いると，画像中の被写体（手首）の平行移動，回転，拡大縮小，傾斜に頑健な照合が可能となる [13]．

ここでは，国際的に標準化された評価基準に従い認識率を評価する [14]．被験者 100 名の両手首，合計 200 枚の静脈画像を照合する．各静脈については，4 回の撮影訓練を実施した後，4 枚の静脈画像を撮影してテンプレートとして記録する．照合の際には，各静脈 15 枚の画像をクエリとして撮影する．なお，いずれの撮影においても，手首に赤色光を投影する．同一静脈照合の場合，ある静脈のテンプレート 4 枚と，同一静脈のクエリ 15 枚とを総当たりで照合し，この中の最高類似度をマッチングスコアとする．すなわち，同一静脈については 200 個のマッチングスコアが得られる．非同一静脈の照合の場合，ある静脈のテンプレートと，非同一静脈のクエリ 15 枚とを総当たりで照合し，この中の最高類似度をマッチングスコアとする．すなわち，非同一静脈については，79,600 個のマッチングスコアが得られる．

原画像における各 RGB 成分の分散を表 2 に示す．RGB

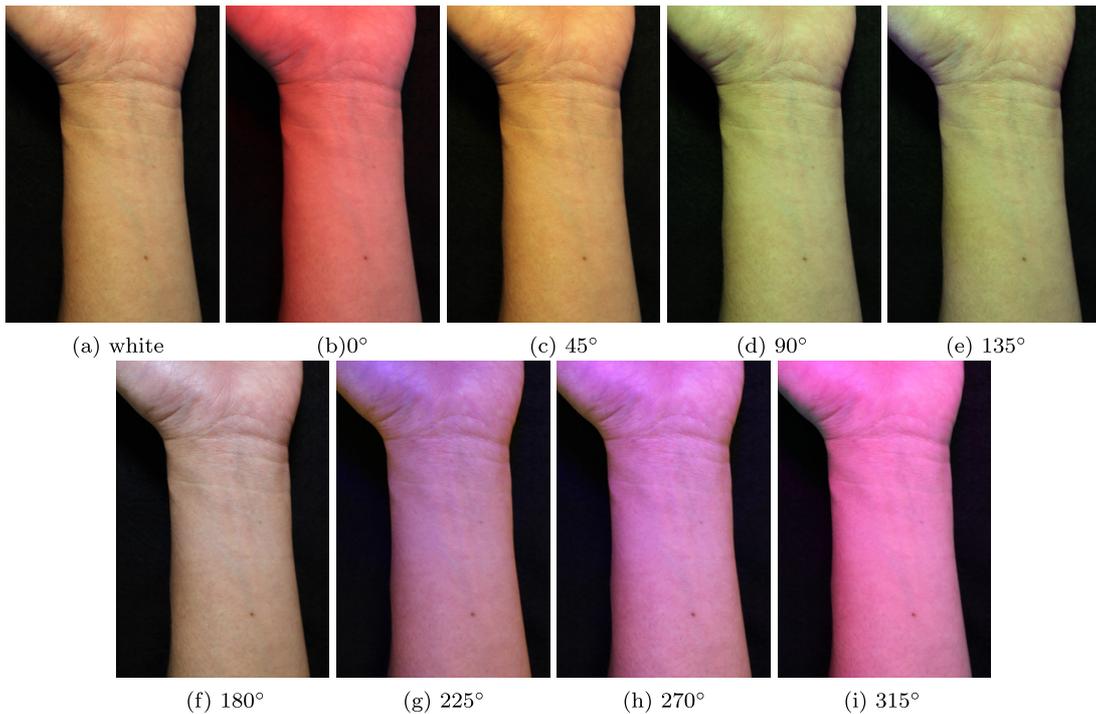


図 10 特定色を投影したときの手首静脈 (白色光, 色相 = 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°)

Fig. 10 Color irradiated wrist veins (white, hue = 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, and 315°).

表 1 投影光の色相と近似誤差 [方法 3]

Table 1 Approximation error against the value of hue in [Method 3].

Hue	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	ave	ave(ε)
white	6.31	6.69	5.66	6.69	4.65	7.64	4.64	9.69	8.17	5.30	6.54	-0.07
0°	6.28*	5.97*	5.35*	5.97*	4.30	6.98*	4.34*	9.56*	8.19	5.27*	6.22	-1.10
45°	6.81	6.21	5.45	6.21	4.34	7.07	4.68	9.68	8.24	5.32	6.40	-0.51
90°	6.79	6.69	5.63	6.69	4.43	7.19	4.74	9.73	8.16	5.34	6.54	-0.12
135°	7.59	6.72	5.72	6.72	4.52	7.23	4.74	9.71	8.21	5.36	6.65	0.20
180°	7.55	6.42	5.57	6.42	4.51	7.21	4.64	9.71	8.08	5.39	6.55	-0.12
225°	6.31	8.11	5.57	8.11	4.81	8.11	5.03	10.41	8.23	5.46	7.02	1.18
270°	6.65	7.99	5.57	7.99	4.56	7.71	4.51	9.96	7.88*	5.48	6.83	0.29
315°	7.63	7.18	5.71	7.18	4.11*	7.50	4.45	9.63	8.34	5.45	6.72	0.25

表 2 輝度値の分散

Table 2 Standard deviation of pixel values.

Method	Standard deviation
R	19.82
G	17.61
B	24.73
(Total)	62.16
Method1	17.16
Method2	21.41
Method3	9.25

信号それぞれの分散を合計した結果は 62.16 であり, これ
が被験者の肌色についてのバリエーションを示している.
各方法による静脈画像における輝度値の分散もあわせて示
す. いずれも RGB の 1 信号における分散と同等か小さく,

[方法 3] < [方法 1] < [方法 2] であり, [方法 3] が最も
小さく, 62.16 の 6 分の 1 以下である. すなわち, 被験者
の肌色についてのバリエーションを縮小させているといえ
る. 肌色に頑健であることを示している.

各方法におけるマッチングスコアの確率分布を図 11 に
示す. また, 単純な従来方法として, 白黒濃淡画像を用い
る方法 (ベースライン法) もあわせて示す. 白黒濃淡画像
は RGB 信号を用いて

$$F(x, y) = 0.299 * R(x, y) + 0.587 * G(x, y) + 0.114 * B(x, y) \tag{14}$$

と生成される. 同一静脈のマッチングスコアは高く, 非同
一静脈の場合は低い傾向がある. また, 2 つの分布の重複
が誤認識を導くが, 重複の大きさは, [ベースライン法] >

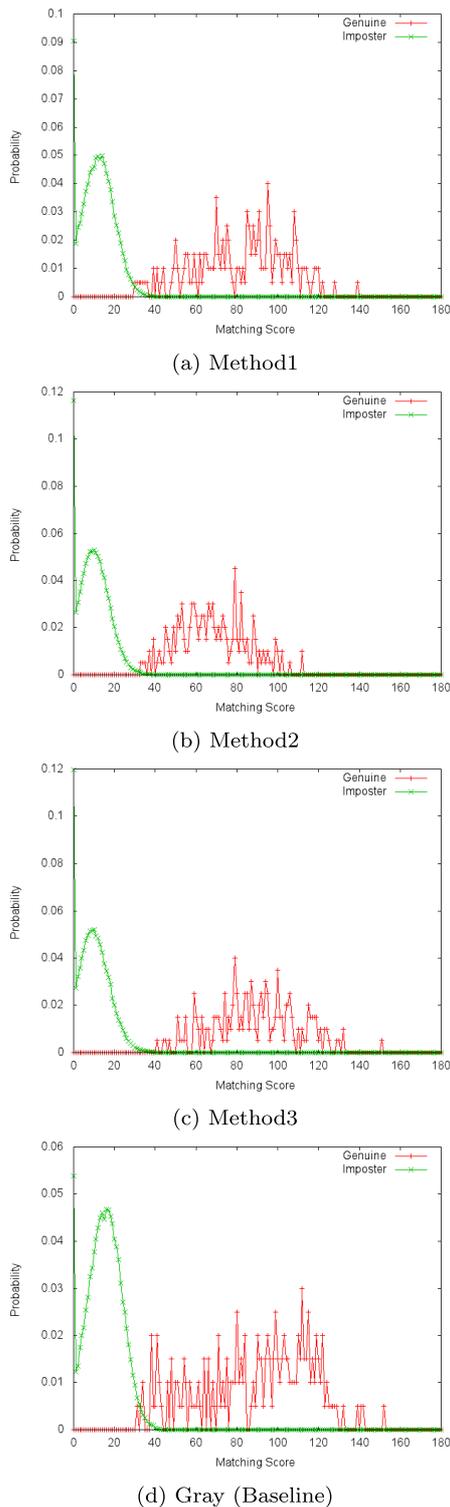


図 11 同一静脈照合と非同静脈照合の類似度分布

Fig. 11 Matching score distribution for the genuine matching and the imposter matching.

[方法 1] > [方法 2] > [方法 3] である。

ROC 解析を行った結果を図 12 に示す。図の横軸は他人受入れ率 (FAR) を示し、縦軸は本人拒否率 (FRR) を示す。[方法 3] の ROC カーブが原点に最も近く、認識率が高い。等価エラー率 (EER) については、[方法 1] は 0.018%, [方法 2] は 0.176%, [方法 3] は 0.7%, [ベース

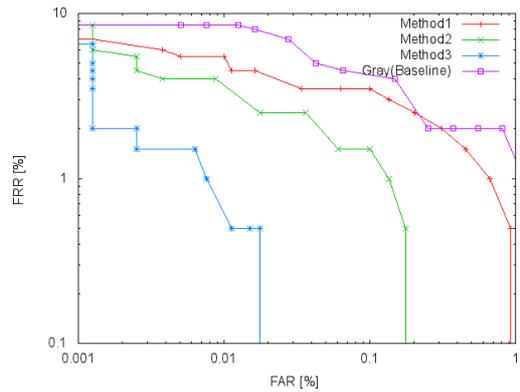


図 12 各方法における ROC 曲線

Fig. 12 ROC curves for the each methods.

ライン法] は 1.0% であり、[方法 3] が最小である。すなわち、[方法 1], [方法 2], [方法 3] とともに [ベースライン法] よりも認識率が高く、その効果は明らかである。また、[方法 3] は認識率が高く、他の方法よりも優れている。

7. おわりに

可視光で撮影された静脈画像の鮮明化について検討した。カラーで撮影された静脈画像の色信号を混合し、白黒濃淡の静脈画像を生成する 3 つの方法を提案した。また、近赤外線による静脈画像との近似誤差が最小になるように変換係数を算出する方法を提案した。可視光で撮影された静脈画像の色成分を配合することで、近赤外線による静脈画像に近い画像が得られることを示した。皮膚に特定色の可視光を照射することによって静脈画像を鮮明化する方法を提案し、実験により赤色光が適していることを明らかにした。実際に静脈を照合したところ、色相と彩度を変動させて多くの色成分を用いる方法 [方法 3] の認識率が最も高いことを示した。

配合する色空間の次元数が多いほど認識率は高くなり、本稿においては [方法 3] が最も優れているといえよう。しかし、変換係数の全探索には膨大な時間、8 変数で数日要してしまう。計算機資源が潤沢ではない場合、限られた状況で多くの事例を算出し、その事例を逐次適用して静脈認証精度を向上させなくてはならない。そこで、RGB 表色系における青色成分の除去 [方法 1]、赤黄成分混合と緑成分の除去 [方法 2] などのノウハウが重要である。これらは知的財産として保有され、非公開の場合も多い。ここでは、方法を説明するために、我々が検討している方法の事例 (3 つの方法) を示した。

静脈の色が容易に取得できる手首静脈を扱った。しかし、掌静脈は手首静脈よりもバリエーションが高く、静脈照合に適している。現在、掌静脈だけでなく掌紋を組み合わせたハイブリット照合システムを開発し、実用化を検討している状況にある。ここで提案した方法を適用し、高い認識率を達成している。今後、掌静脈と掌紋によるハイブ

リット照合方法について述べる計画である。

参考文献

- [1] 内田 薫：携帯電話における生体認証とカメラ画像処理，映像情報メディア学会技術報告，Vol.32, No.58, pp.33-40 (2008).
- [2] 内田 薫：携帯機器におけるバイオメトリクス認証の利用，信学誌，Vol.90, No.12, pp.1037-1041 (2007).
- [3] 青山章一郎，伊藤康一，青木孝文，太田陽基：携帯電話向け非接触掌紋認証アルゴリズム，信学論 A，Vol.J96-A, No.5, pp.250-263 (2013).
- [4] Matsumoto, T.: Gummy and conductive silicone rubber fingers importance of vulnerability analysis, *Advances in Cryptology (ASIACRYPT 2002)*, pp.574-575, Springer (2002).
- [5] 早川吉彦，山下拓慶，大粒来孝，妙瀬田泰隆，佐川盛久，近藤 篤，辻由美子，本田 明：近赤外線イメージングによる皮下異物の検出実験，医用画像情報学会雑誌，Vol.27, No.3, pp.50-54 (2010).
- [6] 佐々木繁，川合裕昭，若林 晃：手のひら静脈照合技術の製品展開，FUJITSU，Vol.56, No.4, pp.346-351 (2005).
- [7] 岩田英三郎：個人認証装置，これを用いたロボット制御装置，認証方法，及びこれを用いたロボット制御方法，特願 2005-19959，特開 2006-48667.
- [8] 長谷川誠，岩田英三郎：Log-Polar 変換を用いた静脈認証画像の補正装置及び方法，特願 2006-86485，特開 2007-233981.
- [9] 岩田英三郎：個人認証方法及び個人認証装置，特願 2013-551451，JP2012071546，WO2013136553.
- [10] 岩田英三郎，本田 文：スマートフォンのカメラで静脈認証，画像ラボ，pp.7-15 (Mar. 2014).
- [11] 北岡明佳：静脈の色の錯視・その 2，日本色彩学会誌，Vol.38, No.5, pp.367-368 (2014).
- [12] Kienle, A., Lilge, L., Vitkin, I.A., Patterson, M.S., Wilson, B.C., Hibst, R. and Steiner, R.: Why do veins appear blue? A new look at an old question, *Applied Optics*, Vol.35, No.7, pp.1151-1160 (1996).
- [13] Hasegawa, M. and Tabbone, S.: Affine Invariant Shape Matching Using Radon Transform and Dynamic Time Warping Distance, *The 27th ACM Symposium on Applied Computing (ACM SAC2012)*, pp.777-781 (Mar. 2012).
- [14] 日本自動認識システム協会，産業技術総合研究所，OKI ソフトウェア：平成 26 年度工業標準化推進事業委託費成果報告書（国際標準共同研究開発・普及基盤構築事業：クラウドセキュリティに資するバイオメトリクス認証のセキュリティ評価基盤整備に必要な国際標準化・普及基盤構築）(Mar. 2015).



釜中 博樹

昭和 62 年早稲田大学理工学部電気工学科卒業，画像処理・音声処理に関する研究に従事。現在，ユニバーサルロボット株式会社勤務。電子情報通信学会会員。



渡邊 瑞己

平成 27 年東京電機大学工学部情報通信工学科卒業。現在，同大学大学院工学研究科在学中。生体認証に関する研究に従事。電子情報通信学会会員。



長谷川 誠 (正会員)

平成 3 年新潟大学工学部情報工学科卒業。同大学大学院自然科学研究科修了。博士(工学)。富士写真フイルム勤務，新潟大学講師，近畿大学准教授，フランス LORIA 研究所研究員を経て，現在，東京電機大学工学部情報通信工学科教授。画像処理，パターンマッチングに関する研究に従事。IEEE，電子情報通信学会各会員。



岩田 英三郎

昭和 58 年明治大学政治経済学部卒業。生体認証，画像認識に関する研究に従事。現在，ユニバーサルロボット株式会社代表取締役。IEEE，電子情報通信学会各会員。