

酸素飽和度と指紋認証の同時測定を検討

A Study on Simultaneous Measurement of Fingerprint and Percutaneous Oxygen Saturation

田中 利幸[†], 江口 一彦^{††}
Toshiyuki TANAKA, Kazuhiko EGUTI

Abstract: Fingerprint authentication is very important for security purpose, however, a fingerprint is easily stolen. Forged fingerprints using fake fingers are increasing to deceive various security check systems based on fingerprint authentication, e.g. immigration check, identification check of ATM machine and so on. Entry and departure control at an international airport consists of immigration, quarantine and custom. Fingerprint authentication for immigration and thermo-graph equipments for quarantine to find passengers infected with high fever are used to support above control respectively. In this paper we propose to employ simultaneous measurement of fingerprint and percutaneous oxygen saturation to prevent illegal entry and to improve quarantine performance. 90% of counterfeit fingers can be detected by the proposed system. It also improves the possibility to find respiratory diseases not necessarily with high fever e.g. pneumonia or tuberculosis.

1. はじめに

1.1 研究の背景

近年、情報の電子化やインターネットが大きく発展し、企業情報や個人情報の流出を避けるために指紋認証が注目されている。しかし、指紋は盗まれやすく、簡単に複製可能であるため偽造指による指紋偽造が多くなっている。特に指紋偽造による不法入国が頻繁に起こっている。

一方、1980年代後半から円高の影響で日本人の海外旅行者と外国人入国者数が年々増加傾向^[1]にある。海外との交流が盛んになるにつれ、人や物を介して輸入感染症が増加することが懸念されている。現在、空港における検疫方法は、質問表及びサーモグラフィー等により健康状態を確認し、異常者のみ診察している。検疫で確認できるしよける検疫方法は、質問票及びサーモグラフィー等により健康状態を確認し、異常者のみ診察している。

1.2 研究の目的

本研究では入出国管理における不法入国の防止と検

疫能力の向上を目的としている。不法入国防止のために酸素飽和度測定器の測定原理（容積脈波法）を用いて指紋偽造を判断できるか検証を行った。また、検疫能力向上のために酸素飽和度測定器を用いて呼吸器感染症患者の早期発見を目指す。酸素飽和度の測定では酸素飽和度が低い方がいないか評価する。酸素飽和度が低い人は肺炎、肺結核の可能性がある。しかし、酸素飽和度では肺炎、肺結核等を確実に判断することができないため、酸素飽和度が低い対象者には個別にレントゲン又はツベルクリン検査などを受けてもらうことになる。

2 動脈血酸素飽和度測定器

2.1 動脈血酸素飽和度測定器

従来では動脈血酸素飽和度は採血をしなければ測定すること不可能であった。しかし、動脈血酸素飽和度測定器は人体を傷つけずに測定することが可能である。また連続的に測定することが可能である。動脈血酸素飽和度を測定することで、低酸素血症を早期発見し、組織レベルでの酸素不足である低酸素症を予防することが可能である。今では手術室、ICU、呼吸器関係などの医療の現場で

[†]愛知工業大学 工学研究科電気電子工学専攻 (豊田市)

^{††}愛知工業大学 工学部電気学科 (豊田市)

必須の医療機器になり、さらに在宅酸素療法患者自身の自己管理にまで用いられている。

2・2 動脈血酸素飽和度

人間が生命を維持するためには酸素が必要である。そのため人間は呼吸により空気中の酸素が肺胞に取り込まれ毛細血管を経由し全身に運ばれる。酸素と結合したヘモグロビンを酸化ヘモグロビン(HbO₂)、結合していないヘモグロビンを還元ヘモグロビン(Hb)と呼ぶ。酸素飽和度 (SpO₂) とは血液中のヘモグロビンのうちどれだけが酸素と結びついているかを示すもので、(2.1)で定義される。

$$SpO_2 = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb} \times 100 \quad (2.1)$$

3 動脈血酸素飽和度の測定原理

3・1 吸光度曲線^[2]

動脈血酸素飽和度測定器は酸素と結びついた酸化ヘモグロビン (HbO₂) と、酸素と結びついていない還元ヘモグロビン (Hb) の比率を見ている。

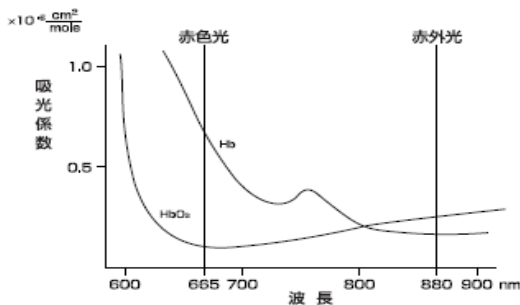


図1.吸光度曲線

図1は酸化ヘモグロビン(HbO₂)と還元ヘモグロビン(Hb)において、どの光を多く吸収するかを示した吸光度曲線である。赤色光①は血液に照射すると、ヘモグロビンと酸素がより多く結びついていると、それだけ多くの光が指を透過し、センサの受光量が増加する。赤外光(IR)はヘモグロビンと酸素が結びついていなくてもあまり変わらず血液を透過する。つまり、センサ受光量の R/IR の比率が分かれば酸素飽和度が測定できる。

3・2 容積脈波法

生体に照射された光は、血液以外の組織層、動脈層、静脈層を通過するため、各層で光を吸収・散乱されてセンサに届く。

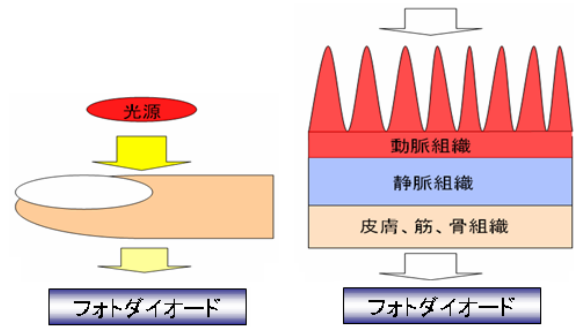


図2 容積脈波法

図2において短時間の中で見ると、厚みが変化するのは脈動をしている動脈血だけである。皮膚、筋、骨組織や静脈は、短時間では容積は一定なので無視できる。動脈組織の容積が変化すると透過する光量も変化し、センサの受光量も変化する。動脈血だけの成分を見ることができるため R(赤色光)、IR(赤外光)の変化成分の比率から酸素飽和度が求められる事ができる。

4 酸素飽和度測定結果

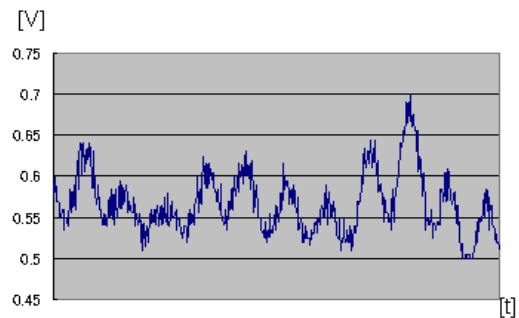


図3 赤色光の成分波形

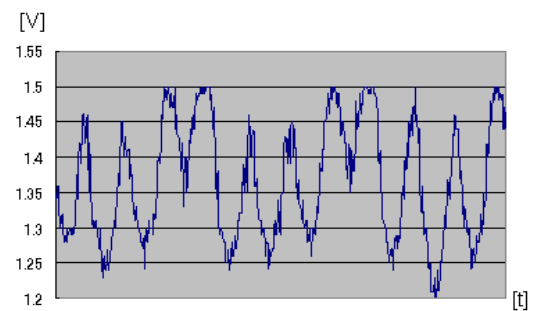


図4 赤外光の成分波形

図3、図4は赤色光の成分波形と赤外光の成分波形である。この成分波形を用いて酸素飽和度を測定した。酸素飽和度を測定するのに Peak-to-Peak を用いる。

赤色光の Peak-to-Peak 赤色(R) 0.099 [V]

赤外光の Peak-to-Peak 赤外(IR) 0.213 [V]

赤色光(R)と赤外光(IR)の比率 R/IR = 0.465

表2の R/IR と酸素飽和度の相対表を見ることで酸素飽和度 98.2%と測定できる。

表 2 酸素飽和度と R/IR の相対表

| 酸素飽和度 | R/IR |
|-------|------|
| 0% | 2.5 |
| 83% | 1.0 |
| 100% | 0.4 |

5. 偽造指判断

本研究で用いた偽造指判断方法を説明する。

5.1 透過光量判断

本研究では図 5 のように近赤外線を照射し指を透過した透過光と指に試料(薄い物質)を挟んだ時の透過量をフォトダイオードで測定する。その透過光量によって偽造指を判断できるか検証した。

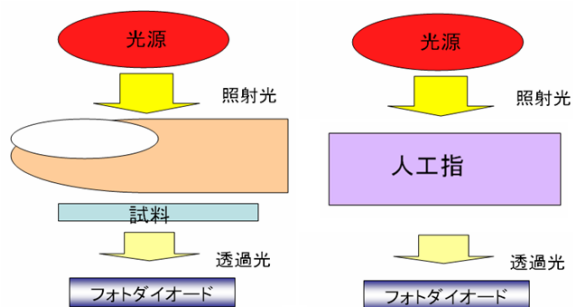


図 5 透過光量判断

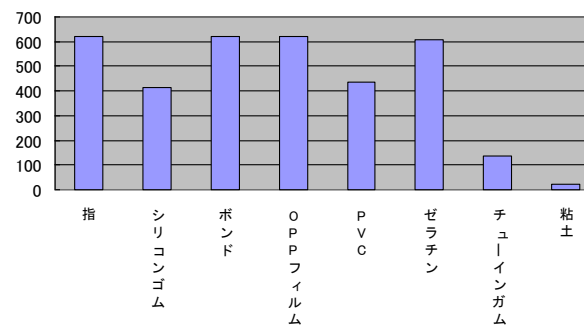


図 6 透過光量判断結果

透過光量測定結果を図 6 に示す。試料材料は以前指紋偽造に使われた材料のものにした。シリコン、PVC(ポリ塩化ビニル)、チューインガム、粘土は指よりも透過光量が減少しているため偽造判別できるが、ボンド、ゼラチン、OPP フィルム(二軸延伸ポリプロピレンフィルム)はほとんど透過光量に変化がないため偽造判別は難しいと考えられる。

5.2 容積脈波判断

人工指単体の時容積脈波法で偽造指が判断できるか検証した。人工指(ゼラチン・ボンド等)は容積が一定のため動脈血成分の波形が抽出できないため偽造指である

と判断できる。

5.3 偽造判断結果

透過光量判別法と容積脈波判断法を用いて偽造指判断を行った。2つの手法を用いると偽造指判断することができた。ただし、OPP フィルムは除く。

6 指紋認証

作成した指紋入力装置とプログラムの説明をする。

6.1 指紋入力装置(全反射法光学式)^[3]

指表面に光を照射した時、指紋の凹凸によって反射方向が変わることを利用する。光が指表面の凹部に当たる反射光と凸部に当たる反射光が変わるため、その反射光の違いのため明暗ができる。反射光レンズで集光させて撮像素子に入射させ測定する手法である。

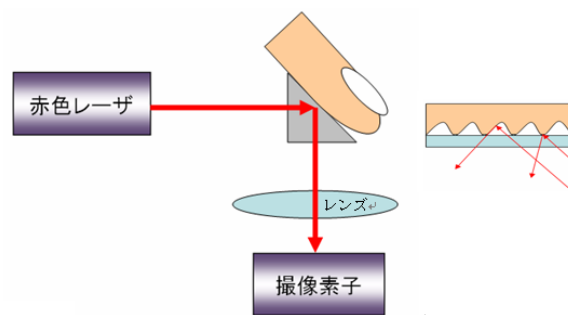


図 7 全反射法光学式

6.2 指紋入力(静電容量式)^[3]

静電容量方式は、皮膚から半導体表面までの距離が隆線部と谷線部で違うことで静電容量に差が生じることを利用した方式で、表面から離れるほど電荷は少なくなる。図 8 に示すように、センサ表面の硬い保護膜の下には埋め込まれた電極が並んでおり、表面に指が触れると、指表面と電極との間の距離に応じた電荷が電極に溜まる。この静電容量を測定し、指紋イメージ像を得る方法である。

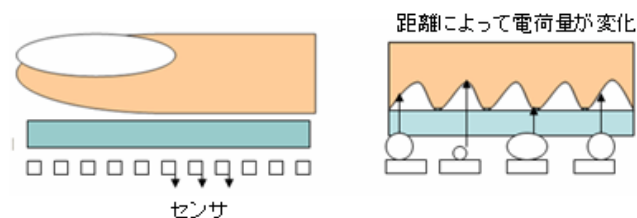


図 8 静電容量式

6.3 ノイズ処理

一般に入力された指紋画像には、濃度むらや途切れなどのノイズ成分を含んでいるので、マニューシャ抽出の精度を高めるために取り除く必要がある。ノイズ除去にはメディアンフィルタを用いた。

6・4 2値化処理

6・4・1 局所2値化^[4]

実際に採取した指紋画像では、背景部分の濃度値や対象部分の濃度値が画像全体で一定していないことがある。そのようなとき、画素ごとにしきい値を変化させる局所2値化処理が有効である。これは注目している画素を小領域に分けその小領域ごとに濃淡の平均を求め、それをしきい値とする。例えば以下の画素成分を2つの小領域に分けると図9のようになる。

| | | | | | |
|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 91 | 60 | 21 | 238 | 147 | 76 |
| 50 | 32 | 240 | 149 | 156 | 250 |
| 10 | 87 | 57 | 158 | 224 | 63 |

図9 小領域で分割

しきい値は小領域ごとの9つの濃度値の平均なので、この例(図10)では左側は72.00、右側は162.33となり、それぞれ次に示すように黒と白に2値化出来る。

| | | | | | |
|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 91 | 60 | 21 | 238 | 147 | 76 |
| 50 | 32 | 240 | 149 | 156 | 250 |
| 10 | 87 | 57 | 158 | 224 | 63 |

図10 局所2値化

6・4・2 内分比2値化^[5]

局所2値化法より求めた平均を再び9つの濃度値と比べ平均より濃いピクセル、薄いピクセルに分ける。さらに図11のように薄いピクセルの集合に対し再び濃度の平均を求める。そして局所2値化法で用いる平均と薄いピクセルの集合で求めた平均値がn:mになる濃度値を新たなしきい値とする。

| | | | | | |
|----|----|----|-----|-----|----|
| | 60 | 21 | | 147 | 76 |
| 50 | 32 | | 149 | 156 | |
| 10 | | 57 | 158 | | 63 |

図11 薄いピクセルで局所2値化

薄いピクセルの集合での平均は左では38.33、右では124.83になる。これを局所2値化法で求めた平均の間を例えば3:2に分けると、しきい値はそれぞれ左が51.79、右が139.88となるので図12のように黒と白に2値化できる

| | | | | | |
|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 91 | 60 | 21 | 238 | 147 | 76 |
| 50 | 32 | 240 | 149 | 156 | 250 |
| 10 | 87 | 57 | 158 | 224 | 63 |

図12 内分比3:2で2値化

6・5 細線化

2値化画像から線幅1の中心線を抽出する処理である。線幅を1にすることで後の処理を簡単にする。

6・6 テンプレートマッチング

テンプレートマッチングとはある特定のパターンをあらかじめ登録しておき、入力画像中にそれと同じパターンが存在するか調べ、その位置を特定する手法である。

7 指紋認証結果

7・1 指紋入力結果

全反射法光学式と静電容量式で取得した画像を図13に示す。取得範囲は静電容量式の方が広く取得することができた。指紋の写り方は全反射法光学式の場合、隆線が鮮明に取得できた。静電容量式は隆線が粗く、途切れ等が多くあった。



図13 指紋入力結果

7・2 内分比2値化処理

メディアンフィルタした画像を内分比2値化処理する。処理画像を図14に示す。



図14 指紋入力結果

7・3 細線化処理結果

2 値化した画像を細線化処理する。細線化処理結果を図 14 に示す。静電容量式は途切れや隆線と隆線の交差が多い。全反射法光学式は少し途切れが生じた。



図 15 細線化処理結果

7・4 テンプレートマッチング結果

細線化処理された画像テンプレートマッチングする。テンプレートマッチング結果を図 38、39 に示す。

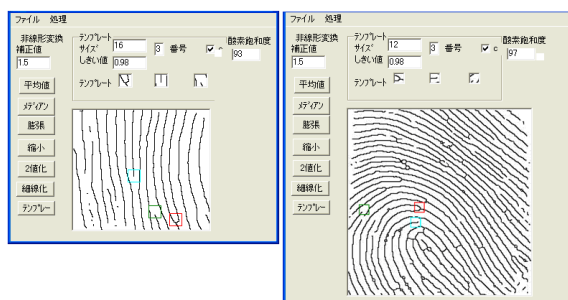


図 16 テンプレートマッチング結果

7・5 指紋認証比較結果

全反射法光学式と静電容量式の比較を表 8 に示す。全反射法光学式の取得範囲は狭いが途切れも少なく、隆線も鮮明に指紋取得できた。また、静電容量式は隆線が粗く、途切れが生じた画像が生じた。隆線が粗く写ったために隆線と隆線の交差がある画像ができた。全反射法光学式の方が鮮明に写り、途切れが少ない画像が取得できる。

表 3 全反射法光学式と静電容量式の比較

| | 光学式 | 静電容量 |
|-------|-----|------|
| 取得範囲 | 狭い | 広い |
| 写り方 | 鮮明 | 粗い |
| 隆線の交差 | 無し | あり |
| 途切れ | あり | あり |

8 結言・今後の課題

8・1 結言

動脈血酸素飽和度測定器を作製し透過光量による偽造指判断の検証を行った。偽造指を判断する手法として、透過光量判別法と容積脈波判別法を用いて検証をした。二つの手法を用いる事で OPP フィルムを除き、偽造指と判断する事ができた。

同時測定のために指紋認証プログラムを開発した。指紋入力装置と動脈血酸素飽和度測定器は個別で作成したため、同時測定がまだできていない。しかし、指紋取得装置と動脈血酸素飽和度測定器は同じ光源(赤色光)を用いているので一体化装置を製作することで同時測定が可能と考えられる。

8・2 今後の課題

偽造指判断できなかった OPP フィルムや他の試料でも偽造指と判別できるか検証する。非接触式の指紋入力装置(光学式)を開発する。非接触式にすることで指紋偽造の抑制になるためである。

本研究では動脈血酸素飽和度測定器と指紋入力装置を別々に作成したので一体化の装置を作製する必要がある。

指紋認証システムは前処理が完全にできていないため細線化処理の時、特徴点でないのに隆線と隆線が交わってしまう場合や隆線が途切れたりするので改善する必要がある。

参考文献

- [1] 法務省入局管理局 外国人入国者数及び日本人出国数
<http://www.moj.go.jp/PRESS/090326-1/030326-1.html>
- [2] Hb、HbO₂ の分光吸収特性 PULSOX 取扱説明書より抜粋
- [3] 鷺見和彦著、「4-指紋認証システム」、「映像情報メディア学会誌 Vol.58 No.6」、社団法人 映像メディア学会発行、759 頁
- [4] 笹川耕一、磯貝文彦、池端重樹著、「低品質画像への対応能力を高めた個人確認用指紋照合装置」、社団法人 電子情報通信学会発行 707-714 頁
- [5] 矢作裕紀、井垣誠吾、森雅博、池田弘之著、「ムービング・ウィンドウ法による指紋照合(Ⅲ) - 2 値化法の一検討」、社団法人電子情報通信学会発行、7-286 頁

(受理 平成 22 年 3 月 19 日)