

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 30 日現在

機関番号：37112

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2014

課題番号：23651171

研究課題名(和文)次世代三次元証明写真及び三次元防犯システムの構築に関する基礎研究

研究課題名(英文)Fundamental Research about Construction of a Next-Generation 3-D Identification Photograph and 3-D Security System

研究代表者

盧存偉(Lu, Cunwei)

福岡工業大学・工学部・教授

研究者番号：80320323

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では「一枚の2D写真より3D顔写真の取得」と「全自動3D顔認証」の2点について研究を行った。

前者の顔の3D計測では、最適パターン光投影に基づく顔の三次元計測や近赤外パターン光投影による顔の三次元計測を実現した。これにより、DLPプロジェクターとカメラのような簡単な設備を用いて、1,2回の写真撮影による簡易快速顔の三次元画像計測を実現した。

後者の顔の3D認証に関しては、認証用顔の3D写真データベースを生かし、3D顔写真の三次元ヒストグラムに基づく高速顔認証手法と、顔の形状を比較し類似度の大きさに基づくICPアルゴリズムを利用した高精度の顔認証手法を提案し実現した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we studied preponderantly about two portions, 'How to obtain a 3-D image from a single 2-D photograph', and 'A technique about automatic 3-D facial recognition'. In the former about 3-D measurement of face, we realized 3-D image measurement of the face based on optimal pattern projection technique, and 3-D image measurement of the face by near-infrared pattern projection. By using the technique, a simple high speed face 3-D measurement system can be realized by 1 or 2 photography using easy equipment like a DLP projector and a digital camera.

In the latter about 3-D facial recognition, we proposed a high speed facial recognition method based on 3-D histogram analysis. Moreover, we proposed a highly precise facial recognition method which compared 3-D form of the face and used the ICP algorithm based on the degree of similar.

研究分野：三次元画像計測とセキュリティシステム

キーワード：画像計測システム 3D画像 3D顔計測 3D顔認証 安全防犯 セキュリティ センシング情報処理 信号処理

1. 研究開始当初の背景

現在幅広く使われている2D証明写真は写真に含まれる色情報を用いて人物の顔の特徴を特定し認識を行うために、化粧、環境変化などにより色特徴情報が変化した場合、誤認証が生じる。一方、空港、銀行等に設置されている防犯カメラも2D画像システムであり、同じ問題がある。

顔の形状を表現できる3D写真(3Dイメージ)を用いれば、色情報特徴に加え、形状特徴を利用するので、化粧、環境変化の影響を受けない人物認証ができる。

しかし今まで提案された3Dイメージシステムは、能動型(代表は2台のカメラを用いるステレオ視、2枚の写真間の対応付問題がある)、受動型(代表はパターン光投影計測、複数回の投影・撮影必要の問題がある)にもかかわらず、瞬時に顔認証に使える3D顔写真(顔のすべての点の三次元座標がわかる)を取得することができないので、3D顔認証は進めない現状である。

2. 研究の目的

本研究の目的は一枚のデジタル写真を用い、瞬時に3D顔写真を取得する3D顔写真取得システムと、3D顔写真を次世代の身分証明書などに張り付け、一般の事務員でも簡単に利用できる全自動3D顔認証システム及び3Dカメラ防犯システムを構築する。

上記の目的を実現するために、本研究では「一枚の2D写真より3D顔写真の取得」と「全自動3D顔認証」の2点について重点的に研究を行った。

3. 研究の方法

(1) 一枚の2D写真より3D顔写真の取得

3D顔写真を取得するために、顔の三次元形状を計測する必要がある。今まで提案された三次元画像計測方法は受動法と能動法に大別でき、受動法の代表は人の両目のように2台のカメラを用いたステレオ視方法であり、能動法の代表は計測物体にパターン光を投影しその反射パターンの解析により三次元情報を取得するパターン光投影計測法である。

しかし、ステレオ視法計測は2枚の写真間の対応付が必要なため、顔の輪郭や口の形状等特徴明確な部分の計測が得意であるが、額や頬等特徴の少ない部分の計測ができず、顔認証のための3D写真撮影に不向きである。

パターン光投影計測は計測対象物体のすべての部分の三次元情報を取得できるが、パターン光を数回に計測物体に投影する必要があり、計測に時間がかかるだけでなく、パターン光投影の際計測物体が動いたら計測ができなくなるので、3D顔写真への適用が困難である。

本研究は最適パターン光投影計測技術を用いて、受動法と能動法計測の両方の利点を生かし、問題点を解決もしくは回避し、一枚の2Dデジタル写真から顔の3D情報を求める手法を提案する。

図1は最適パターン光投影計測システムの構成図である。投光機はコンピュータに制御され、計測対象物体に必要なパターン光を投影する。カメラはコンピュータに接続し、コンピュータよりカメラの撮影パラメータを調節し、コンピュータの命令に従って写真撮影を行う。

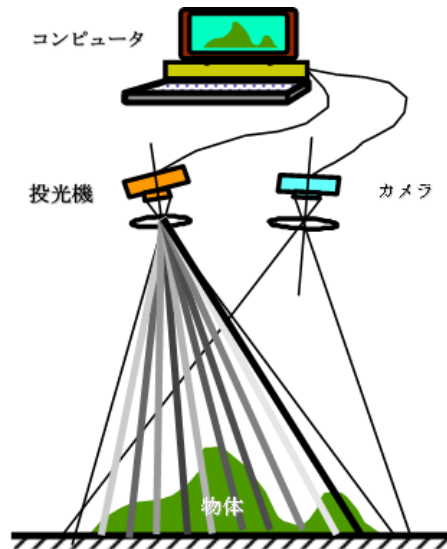


図1 最適パターン光投影計測システムの構成

3D計測は下記のステップで行う。

- ① 最適パターンを生成する
- ② 最適パターンを顔に投影する
- ③ 顔からの反射パターン画像を撮影し、コンピュータに入力する
- ④ 画像処理を行い、3D情報を算出する

ステップ①の最適パターン生成は普段オフラインで行う。生成方法は参考文献に書かれているので、ここで省略する。

ステップ②のパターン光投影は液晶プロジェクターやDLPプロジェクターのような市販の投光機を使うことが可能である。また、人間の顔を計測する際に、近赤外投影パターンを使用する。

ステップ③の撮影はデジタルカメラにより行う。

ステップ④の顔の3D情報算出では、まず撮影された反射パターンにおける各縞の強度分布より、投影パターンにおける各縞のアドレスを算出する。次に、算出した各縞のアドレスを用い、三角測法の原理により、各計測点の三次元座標を求め、顔全体の3D情報を求める。

縞のアドレスの算出は最適組合せの技術を用いたが、詳細はここで省略する。

計測点の三次元座標の算出は三角測法の

原理に基づき、下記の式による。座標関係は図2に示す。

$$X = \frac{x_1}{f} Z = \frac{x_1}{x_1 - x_2} d \quad (1)$$

$$Y = \frac{y_1}{f} Z = \frac{y_1}{x_1 - x_2} d \quad (2)$$

$$Z = \frac{f}{x_1 - x_2} d = \frac{d}{\tan \alpha + \tan \beta} \quad (3)$$

ただし、(X, Y, Z)は計測対象点の三次元世界座標、 x_1 は投影面にある投影光の画像座標、 x_2 は観測画像面にある計測点の画像座標、 α は投影角度、 β は観測角度、 d は投光機からカメラまでの基線長、 f はカメラと投光機のレンズの焦点距離である。

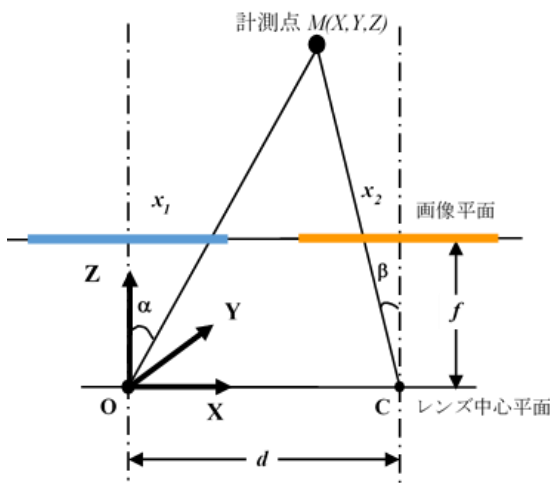


図2 計測システムの座標関係

図3は顔の三次元計測結果の一例である。図3(a)は最適投影パターン、(b)は顔のオリジナル画像、(c)は反射された最適パターン画像、(d)三次元計測結果である。

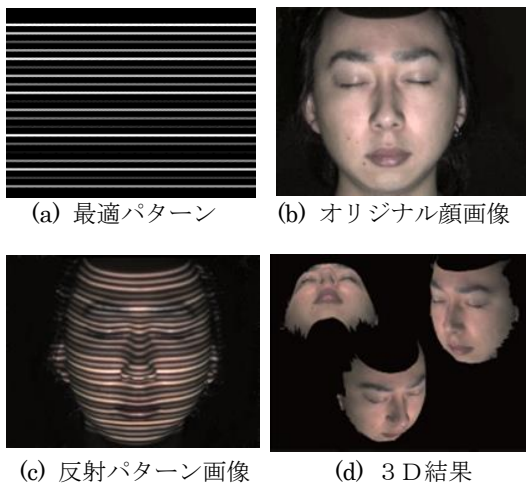


図3 計測システムの座標関係

(2) 全自動3D顔認証

本研究では、3Dヒストグラムに基づく高速手法とICPアルゴリズムを用いた高精度手法の2種類の3D顔認証手法を提案した。後者は計測した顔の3D画像をデータベースにある3D画像の形状比較により顔の認証を行う手法である。ここで前者の手法について述べる。

3Dヒストグラムに基づく3D顔認証手法は下記のステップで行う。

- ① 顔の3D画像から距離画像を求める
 - ② 距離画像を正規化する
 - ③ 距離画像の3Dヒストグラムを求める
 - ④ ヒストグラムの比較より人物を特定する
- ステップ①では、計測された顔の3D画像から強度が0から255まで距離画像に変化する。

ステップ②では、顔の向きや奥行き距離を補正し、カメラに一定の距離を持つ真正面向きの距離画像に正規化する。正規化は空間上の回転と平行移動により行う。図4は正規化の結果であり、(a)は正規化前の距離画像で、(b)は正規化後の距離画像である。

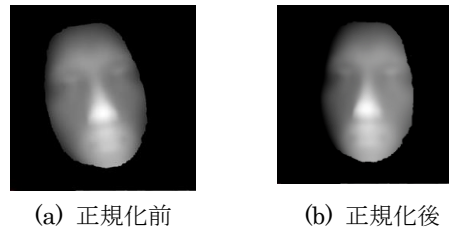


図4 距離画像の正規化

ステップ③では、距離画像のレンジを16段に分割し、各段のピクセル数を求め、3Dヒストグラムを生成する。

ステップ④では、計測画像の3Dヒストグラムとデータベースにある複数人物の3Dヒストグラムを比較し、誤差の一番小さい人物を対象人物として認識する。図5はヒストグラム比較のイメージ図であり、赤色は計測画像、青色はデータベースにある画像である。

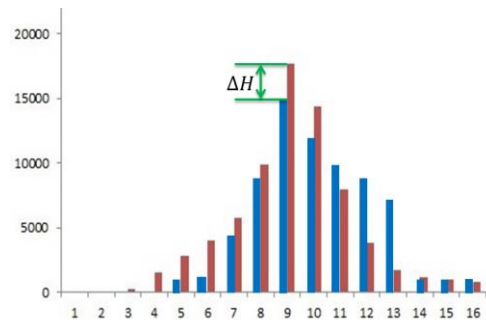


図5 3Dヒストグラムの比較

式(4)誤差の計算式であり、 H_1 は計測画像、 H_2 はデータベースにあるある人物Aの登録

画像、 I は3Dヒストグラムの諧調であり本研究では16である。

$$d(H_1, H_2) = \sum_I \frac{\{H_1(I) - H_2(I)\}^2}{H_1(I) + H_2(I)} \quad (4)$$

計測画像とデータベースにある全ての候補画像を比較し、上記 d が一番小さい且つ閾値より小さい場合に、計測人物がこの登録人物に認識される。

4. 研究成果

4年間の研究で下記の成果が得られた

- ① 最適パターン光投影計測に基づく顔の三次元計測手法を提案し、実現した。提案手法では、一、二回の写真撮影で物体の三次元表面情報を取得することができるので、顔の三次元計測だけでなく、静止及び非静止物体の三次元形状計測にも実用できると考えられる。
- ② 近赤外パターン光投影による三次元顔計測を実現した。
- ③ 3Dヒストグラムによる顔の三次元認識手法、鼻中心とする顔の距離画像の正規化手法を提案し、高速度三次元顔認識を実現した。
- ④ ICPアルゴリズムを用いた3D形状比較に基づく顔の三次元認識手法を提案し、高精度な三次元顔認識を実現した。
- ⑤ 上記成果の実用化実例として、自動車運転の際のドライバーの頭部姿勢検出システムを開発した。
- ⑥ また、本研究の最終目標とする次世代身分照明システムの開発に関しては、現在身分証明カードに3D写真データの書き込みと、小型3D顔計測と自動認証システムの開発を行っているところである。本研究期間中ではこれらの課題を完成できなかったが、次の実用化ステップ研究との繋がりができたと思う。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① 盧存偉、上塘広也、孫可、辻野和宏、長元気：立体カメラ：全自動三次元画像計測システムの開発と応用、電気学会論文誌C、pp.320-328, Vol.131, No.2, 2011
- ② Ke Sun and Cunwei Lu, A Three-dimensional Shape Measurement Method Requiring only a single Observation Image Based on Pattern Projection Technique, IEEJ Transaction on Electronics, Information and System, Vol. 131, No. 12, pp.2224-2225, 2011
- ③ Ke Sun and Cunwei Lu, A high-speed 3-D image measurement method, Artificial Life and Robotics, Vol.16, No.4, pp. 526-528, DOI: 10.1007/s10015-011-0981-1, 2012

- ④ Hiroya Kamitomo and Cunwei Lu, 3-D face recognition method based on optimum 3-D image measurement technology, Artificial Life and Robotics, Vol.16, No.4, pp. 551-554, DOI: 10.1007/s10015-011-0982-0, 2012
- ⑤ Xueli Zhang, Kazuhiro Tsujino and Cunwei Lu, A high-sensitivity 3D shape measurement method using a microscope, Artificial Life and Robotics, Vol.17, No.3-4, pp.336-341, DOI: 10.1007/s10015-012-0088-3, 2013
- ⑥ Xueli Zhang, Cunwei Lu, A High Sensitivity 3-D Measurement Method of Minute Specimen Base on Microscope and Laser Projection, Materials Science Forum, Vol. 750 (2013), pp. 280-283, 2013.03
- ⑦ Chen Xu, Cunwei Lu, An experimental system development for head posture estimation based on 3-D images measurement, Journal of Computer and Communications, DOI: 10.4236, Vol. 2, No.2, pp. 57-63, 2014

[学会発表] (計15件)

- ① Xueli Zhang, Kazuhiro Tsujino, and Cunwei Lu: A high-sensitivity 3-D shape measurement method with microscope, AROB'2012, OS21-4, Oita, Japan, January, 2012.
- ② Xueli Zhang and Cunwei Lu: A High Sensitivity 3-D Measurement Method of Minute Specimen Based on Microscope and Laser Projection, IFAMST-2012, 4A-OS10-06, The 8th International Forum on Advanced Materials Science and Technology, Fukuoka, Japan, 2012
- ③ Yonghu Zhu, Y. Adaniya and Cunwei Lu: Automatic identification of 3-D shape of head for wig manufacture, AROB'2013, Daejeon, KOREA, 2013.02
- ④ Kazuhiro Tsujino, Xu Chen and Lu Cunwei: A 3-D measurement method of facial direction, International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2013), Bangkok, Thailand(The Sukosol Bangkok), August 21-24, 2013
- ⑤ Chen Xu, Ying Kang, Kazuhiro Tsujino and Cunwei Lu: A head posture estimation method based on 3-D images measurement for intuitive human-system interaction, 2013 International Joint Conference on Awareness Science and Technology & Ubi-Media Computing (iCAST 2013 & UMEDIA 2013), AIZU, Japan, November 2-4, 2013
- ⑥ Lu Xu, Weiwei Liu, Kazuhiro Tsujino and Cunwei Lu: A Facial Recognition Method Based on 3-D Images Analysis for Intuitive

Human-System Interaction, 2013 International Joint Conference on Awareness Science and Technology & Ubi-Media Computing (iCAST 2013 & UMEDIA 2013), AIZU, Japan, November 2-4, 2013

- ⑦ Chen Xu and Cunwei Lu, An experimental system development for head posture estimation based on 3-D images measurement, Journal of Computer and Communications, The 2nd International Conference on Signal and Image Processing (CSIP 2014), Best Western Shenzhen Felicity Hotel, Shenzhen China, Jan. 12-13, 2014
- ⑧ 川口修平・上塘広也・盧存偉、三次元画像計測技術を用いた安全運転の顔向き検出、第 64 回電気関係学会九州支部連合大会、03-1P-09、長崎大学、201109
- ⑨ 江川史洋・ヨシアキ アダニヤ・辻野和広・盧存偉、パーティクルシステムを用いた頭髪の三次元モデリング、第 64 回電気関係学会九州支部連合大会、03-1P-10、長崎大学、201109
- ⑩ 厳雅露・張雪黎・辻野和広・盧存偉、自動車ドライバー頭部姿勢の検出、第 65 回 電気関係学会九州支部連合大会、10-1A-10、長崎大学、2012.09
- ⑪ 劉薇薇・辻野和広・アダニヤヨシアキ・盧存偉：3次元ヒストグラムによる顔認識、第 65 回 電気関係学会九州支部連合大会、10-1A-11、長崎大学、2012.09
- ⑫ Chen Xu, Yalu Yan, Cunwei Lu: A 3-D Feature Measurement Of The Face Based On Infrared Pattern Projection Technique, 電子情報通信学科 2013 年総合大会、D-11-79、岐阜大学、2013.03
- ⑬ 朱永虎・アダニヤ ヨシアキ・辻野和広・盧存偉：三次元画像計測技術を用いたカメラ生産体制の構築、電子情報通信学科 2013 年総合大会、D-11-85、岐阜大学、2013.03
- ⑭ Lu Xu・Cunwei Lu, A Height Measurement Method of Sea Wave Based on Stereopsis Technique, No.08-1P-05、第 67 回電気・情報関係学会九州支部連合大会、鹿児島大学、9月18日～19日、2014
- ⑮ Wei Fan, Cunwei Lu, An Automatic Standardization Method of Distance Histogram for 3-D Facial Recognition, No.315-1, 第 59 回システム制御情報学会研究発表講演会(SCI' 15), May 20-22, 2015

〔図書〕(計 1 件)

- ① 三次元画像センシングの新展開——リアルタイム・高精度にむけた要素技術から産業応用まで、岩堀祐之監修、NTS 出版

〔産業財産権〕
○出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況(計 4 件)

名称：三次元計測装置および三次元計測方法並びに三次元計測プログラム
発明者：盧存偉
権利者：福岡工業大学
種類：発明特許
番号：4883517
出願年月日：20041119
取得年月日：20111216
国内外の別：国内

名称：非静止物体の三次元画像計測装置、三次元画像計測方法および三次元画像計測プログラム
発明者：盧存偉、長元気
権利者：福岡工業大学
種類：発明特許
番号：日本 4986679、中国 101646919B、香港 1139199
出願年月日：日本 20070329、中国 20080317、香港 20100524
取得年月日：日本 20120511、中国 20110420、香港 20110819
国内外の別：国内、中国、香港

〔その他〕
ホームページ
www.fit.ac.jp/~lu/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

盧 存偉 (Lu Cunwei)
福岡工業大学・工学部・教授

研究者番号：8 0 3 2 0 3 2 3

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし