

## グリッドパターンを用いたワンショットスキャンによる リアルタイムな人体計測システム

川崎 俊央<sup>†</sup> 川崎 洋<sup>†</sup> 古川 亮<sup>††</sup> 大田 雄也<sup>†††</sup> 佐川 立昌<sup>†††</sup>  
八木 康史<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 埼玉大学工学部 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

<sup>††</sup> 広島市立大学情報科学部 〒731-3194 広島市安佐南区大塚東 3-4-1

<sup>†††</sup> 大阪大学 産業科学研究所 〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 8-1

E-mail: <sup>†</sup>{ishikawa,kawasaki}@cgv.ics.saitama-u.ac.jp, <sup>††</sup>ryo-f@cs.hiroshima-cu.ac.jp,

<sup>†††</sup>{ohta,sagawa,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

あらまし 3次元物体の形状を高密度で取得できれば多くの物体解析に大きく貢献できる。これを実現するため、これまで多くの手法が提案されてきたが、特にパターンコード化法による手法が実用の面などから近年盛んに研究されている。特に、単一の投影パターンを用いて復元する手法は動物体にも対応でき、応用範囲が広い。この手法はワンショットスキャンと呼ばれる。本論文では、赤外線を用いた3次元形状復元を提案する。特定の波長の赤外線を用いることで、環境光の影響を受けにくくなり、顔をスキャンする時の計測中の眩しさが無くなるといった利点がある。また、対象物体のテクスチャを同時に獲得できる。本論文では、この赤外線によるワンショットスキャンを用いた人体計測システムを構築し、評価する。

キーワード アクティブ3次元復元, ワンショットスキャン, 共面性からの形状復元, 人体計測, 赤外線

## Realtime Human body scanning system using grid pattern based One-shot scanner

Toshihiro KAWASAKI<sup>†</sup>, Hiroshi KAWASAKI<sup>†</sup>, Ryo FURUKAWA<sup>††</sup>, Yuya OHTA<sup>†††</sup>, Ryusuke  
SAGAWA<sup>†††</sup>, and Yasushi YAGI<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Engineering, Saitama University SimoOkubo 255, Sakura district, Saitama City, 338-8570  
Japan

<sup>††</sup> Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University Ootuka Higashi 3-4-1, AsaMinami district,  
Hiroshima-shi, 731-3194 Japan

<sup>†††</sup> The Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University Osaka, Japan,  
Mihogaoka 8-1, Ibaraki-shi, 567-0047 Osaka, Japan

E-mail: <sup>†</sup>{ishikawa,kawasaki}@cgv.ics.saitama-u.ac.jp, <sup>††</sup>ryo-f@cs.hiroshima-cu.ac.jp,

<sup>†††</sup>{ohta,sagawa,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp

**Abstract** Dense 3D reconstruction of objects could contribute to various applications such as body structure analysis. To achieve this, many method have proposed and especially techniques using structured light have been proposed. In addition, the techniques using a single pattern can capture dynamic scene and it has a wide range for applications. The method called oneshot-scanning. In this papers, we propose 3D reconstruction based infrared ray. Its technique using infrared rays with a particular wavelength has advantages such as be lightly affected by environment light and brightness during face measurement, and can obtain texture coincidentally. In this paper, we construct a human body scanning system using infrared oneshot scanner and evaluate this.

**Key words** active 3D scanning, oneshot scan, shape from caplanarity, human body scanning, infrared rays

## 1. はじめに

三次元形状の計測において、動きのあるシーンや物体、例えば顔や人体を計測するためには、計測の高速性、密度の点の獲得、正確性などが重要である。パッシブステレオにおいては、テクスチャの無い形状表面を、密かつ正確に再構成することは難しい。このため、アクティブ3次元計測手法、特にパターンコード化法を高速化することで動きのあるシーンの形状取得を行いというアプローチが近年盛んに研究されている。

パターンコード化法では、プロジェクタで単一または複数のパターンをシーンに投影し、撮影することで3次元形状を復元する。このため、投影パターンの特徴点と撮影されたシーンとの対応関係が必要である。多くのパターンコード化方式ではプロジェクタの画素の位置情報を複数のパターンに時間的にコード化することで対応関係を得る。この方式において、必要なパターンの数を減らし、更にパターンの速度を上げることで動きのあるシーンの3次元形状を獲得出来る。しかしこの方法では、必要なパターンを投影する間、シーンの時間的な移動量が非常に少ないことを前提としているため、動物体には正確な形状が得られず、また高速に同期して動作する機器の構築のためにシステムが複雑化する問題点がある。

一方で、プロジェクタから投影される画像に、各々の画素位置を同定するために情報を空間的なパターンとしてコード化して埋め込み、一枚の撮影画像のみからシーンを復元手法がある。これはワンショットスキャン手法と呼ばれる。この方法では、局所的な領域に、位置情報を一意にコード化する必要性から、パターンが複雑になりやすく、また、複数の画像に単一の位置情報をコード化することから、解像度が低くなるという問題点がある。さらに、コードのパターンが複雑になると、対象物の反射率により色情報が乱されたり、対象物体の形状によりパターンの歪みや不連続性が発生しやすく、コード化された情報の抽出が不安定となる問題もある。

近年、縦と横のみが識別可能な多数の直線で構成された単純なグリッドパターンを用いて、その交点を特徴点とすることで3次元復元を実現する手法が提案されている。これは、縦と横の接続関係という特徴点同士の情報から、共面性からの形状復元を応用して、縦線と横線の交点として矛盾の無い3次元形状を、1パラメータの解集合として作成し、この1自由度を、既知のグリッドパターンを用いて、1次元探索により高速に決定する手法である。

本論文は、このグリッドパターンによる復元手法を用いて赤外線による3次元形状計測システムを提案する。赤外線を用いることで、計測環境の可視光の影響を受けにくくなり、また、人の顔を計測する場合の光の眩しさといった問題が解消される。さらに、可視光に影響を与えないため、物体のテクスチャも獲得することが可能となる。

## 2. 関連研究

パターン光による形状復元では、投影されるパターンの時間的あるいは空間的变化にプロジェクタの画素の位置情報をコー

ド化する。画像の時間的变化のみを利用する方法は、画素ごとに実装が容易なため、古くから利用されている。しかし、この方法では、位置情報のコード化に必要なパターンの枚数が多く、高速なキャプチャに不向きである。

一方で、パターンの空間的コードのみを利用する方法であるワンショットスキャンは、各画素の位置情報を空間的な広がりのあるパターンにコード化するため、解像度が落ちてしまう問題がある。また、パターンが各画素の周囲で局所的かつ一意的にコード化される必要性から、これを実現するためのパターンは比較的複雑なものとなり、抽出のための画像処理も複雑となる。このため、物体の色や形状の影響によりコード化された情報の抽出に失敗することが起こりやすく、結果不安定になりやすい。

Salviらは、当時までに提案されていた空間コード化法において、新しい縦横のグリッドパターンを提案し、3次元形状復元を行う手法を提案した[1]。グリッドパターンを用いるのは本論文と同じであるが、グリッドパターンに導入する色が異なり、隣り合うラインが異なる色になるように配色する。この論文では縦にマゼンタ、イアン、イエロー、横にRGBを用いている。初期段階で6色をRGB表色系からHSI表色系へ変換に6レベルの明暗度に分け、それぞれの明暗度でグリッドパターンを区別している。一方で、Zhangらは、debruijn系列を導入して、縦または横の直線状のパターンを投影し、三次元形状復元する手法を提案した[2]。提案されたパターンをカメラでキャプチャし、検出されたパターンの色の程度をRGBでそれぞれ2値化しコード化することで、三次元位置を求めている。

また、Thomasらは直線状のパターンの集合という単純なパターンを用いて、画像一枚から密な形状復元が可能な方法を提案した[3]。この手法は、密な直線パターンの繰り返しの抽出による局所的な形状復元を基本としており、ここに疎な直線状パターンを組み合わせることでユークリッド形状の復元を実現している。このため、疎な直線状パターンの検出に失敗してしまうと、形状復元に失敗してしまうという欠点がある。

古川らは未公正なラインレーザーによって投射された画像を複数枚利用することで、シーンの3次元復元を行った[4]。これは、ラインレーザーによって投射される点の共面性条件を解くことで実現される。さらに、プロジェクタから投射されるグリッドパターンの交点は、共面性条件が成立することから、ラインベースのワンショットスキャンを提案している[5]。

## 3. グリッドパターンからの形状復元

### 3.1 システム

本論文で使用する3次元計測システムは、赤外カメラ1台と赤外プロジェクタ2台からなり、縦横、2種類の直線状のパターンを投影し、カメラで撮影する。縦と横のパターンは赤外線の異なる波長により識別される。赤外線のため、オブジェクトのテクスチャ等から影響を受けにくくなり安定した識別を実現できる。また、テクスチャもキャプチャすることが出来る。

### 3.2 問題設定

プロジェクタからオブジェクトに投影された直線状パターン

は、空間上に平面を定義する．縦パターンと横パターンで定義される平面をそれぞれ vertical pattern plane(VPP), horizontal pattern plane(HPP) と表記する．

プロジェクタとカメラの内部パラメータは既知であり、プロジェクタとカメラ間の相対位置も外部キャリブレーションなどの手法によって既知であると仮定する．つまり、空間中に存在する VPP, HPP は全てカメラ座標系での平面の位置とパラメータが既知である．以下、平面、直線などのパラメータ、点の3次元位置は全てカメラ座標系で表すものとする．これら、位置パラメータが既知であるような VPP, HPP を、CVPP 及び CHPP と呼ぶ．また、全ての CVPP はプロジェクタの光学中心を含む単一の直線を共有する．同様に、CHPP も単一の直線を共有する．これらの直線を  $L_v, L_h$  と表記する．二つの直線の交点はプロジェクタの光学中心  $O_p$  と一致する． $O_p$  と、 $L_v, L_h$  の方向ベクトルはプロジェクタとカメラ間の相対位置が既知であれば計算により求めることができる．

対象シーンの表面に投影された縦パターンと、横パターンの交点をカメラで撮影された画像から特徴点として抽出する．この特徴点を「キャプチャされた交点」と呼ぶ．画像処理によってこれらの交点同士の接続関係を抽出する．本論文では交点同士の関係として、同一の縦パターンや横パターン上にある、という関係を利用する．同一のパターン上にある交点を「同一の VPP 上にある」と言うことができる．しかし最初の段階では、各々の交点が存在する VPP, HPP が具体的にどの CVPP, CHPP に対応しているか不明である．このように、検出された縦パターンが表す VPP は観測時点では CVPP に対応付けられていないので、これを UVPP(unknown VPP) と呼ぶ．同様に検出された横パターンが表す HPP を UHPP と呼ぶ．

UVPP は画像面上の縦パターンであり、CVPP は既知の3次元平面であるから、この対応から光切断法によって、縦パターン上の点の3次元位置を求めることができる．従って、この対応関係を得ることが本手法の課題となる．

### 3.3 対応問題の解決のアウトライン

まず UVPP または UHPP について成立する共面性の条件から複数の線形方程式を導く．これらの方程式を連立方程式として解くと、UVPP, UHPP の集合に関して1自由度の不定性を持った一般解が得られる．解の不定性の自由度が1であることから、一つのパラメータを決定することで全ての UVPP, UHPP の位置が決定される．この1自由度の不定性を、UVPP, UHPP の集合と CVPP, CHPP の集合とのマッチングによって解消する．この処理は、平面同士のマッチング誤差を定義することで、その差が最小となるパラメータを1次元探索することで行われる．

### 3.4 共面性条件の解

関係する平面(CVPP, CHPP, UVPP, UHPP)を表すための記号を定義する．投影されるパターンから得られた CVPP の集合を  $V_1, V_2, \dots, V_M$  と表し、CHPP の集合を、 $H_1, H_2, \dots, H_N$  と表す．また、画像から得られた UVPP, UHPP の集合を、それぞれ  $v_1, v_2, \dots, v_m$ 、及び、 $h_1, h_2, \dots, h_m$  と表記する．

$v_k$  と  $h_j$  の交点がキャプチャされ、画像上での位置が正規化カメラの座標表記で  $\mathbf{u}_{k,l} = [s_{k,l}, t_{k,l}]^T$  であるとする． $v_k$  と  $h_j$  の2個は次の式で表すことができる．

$$\mathbf{v}_k^T \mathbf{x} = -1, \mathbf{h}_l^T \mathbf{x} = -1. \quad (1)$$

ここで3次元ベクトル  $\mathbf{v}_k$  および  $\mathbf{h}_l$  は平面のパラメータを表し、 $\mathbf{x}$  は平面上の任意の点を表す．キャプチャされた交点  $\mathbf{u}_{k,l}$  の3次元位置を  $\mathbf{x}_{k,l}$  とすると、 $\mathbf{x}_{k,l}$  は  $\mathbf{u}_{k,l}$  を利用して、

$$\mathbf{x}_{k,l} = \gamma[\mathbf{u}_{k,l}^T \mathbf{1}]^T \quad (2)$$

と表される．方程式(1)に  $\mathbf{x} = \mathbf{x}_{k,l}$  を代入して、式(1)と(2)から  $\mathbf{x}_{k,l}$  と  $\gamma$  を消去すると、

$$[\mathbf{u}_{k,l}^T \mathbf{1}](\mathbf{v}_k - \mathbf{h}_l) = 0 \quad (3)$$

が得られる．この式は  $\mathbf{v}_k, \mathbf{h}_l$  を変数とする一次方程式であり、この方程式を全てのキャプチャされた交点について並べると、 $\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_m, \mathbf{h}_1, \dots, \mathbf{h}_n$  を変数とする連立一次方程式となる．これを行列形式で表現したとき、 $\mathbf{A}\mathbf{q} = 0$  と表されるとする．ただし、 $\mathbf{q} = [\mathbf{v}_1^T, \dots, \mathbf{v}_m^T, \mathbf{h}_1^T, \dots, \mathbf{h}_n^T]^T$  である．

方程式(3)には差  $(\mathbf{v}_k - \mathbf{h}_l)$  のみが見れるので、連立方程式  $\mathbf{A}\mathbf{q} = 0$  の解  $\mathbf{q} = [\mathbf{v}_1^T, \dots, \mathbf{v}_m^T, \mathbf{h}_1^T, \dots, \mathbf{h}_n^T]^T$  について、そのスカラー倍、 $s\mathbf{q} = [s\mathbf{v}_1^T, \dots, s\mathbf{v}_m^T, s\mathbf{h}_1^T, \dots, s\mathbf{h}_n^T]^T$  もまた解である．さらに、任意の3次元定数ベクトル  $\mathbf{c}$  を並べたベクトル加算したもの  $\mathbf{q} + [\mathbf{c}^T, \mathbf{c}^T, \dots, \mathbf{c}^T]^T = [\mathbf{v}_1^T + \mathbf{c}^T, \dots, \mathbf{v}_m^T + \mathbf{c}^T, \mathbf{h}_1^T + \mathbf{c}^T, \dots, \mathbf{h}_n^T + \mathbf{c}^T]^T$  もやはり解である．これより、連立方程式  $\mathbf{A}\mathbf{q} = 0$  の一般解は、

$$\mathbf{v}_k = s\mathbf{v}'_k + \mathbf{c}, \mathbf{h}_l = s\mathbf{h}'_l + \mathbf{c} \quad (4)$$

と表される．ただし、 $\mathbf{q}' = [\mathbf{v}'_1^T, \dots, \mathbf{v}'_m^T, \mathbf{h}'_1^T, \dots, \mathbf{h}'_n^T]^T$  は  $\mathbf{A}\mathbf{q} = 0$  の特殊解である．

本論文では、全ての UVPP は直線  $L_v$  を含み、全ての UHPP は直線  $L_h$  を含む、という条件が存在する．さらに、 $L_v$  と  $L_h$  は点  $O_p$  で交わる．これらの条件から、式(4)の任意変数  $s$  と  $\mathbf{c}$  には拘束が生じ、解の不定性の自由度が減る．以下に、上記の条件における一般解の求め方を述べる．

2個の直線  $L_v$  と  $L_h$  を含む平面を、projector focal plane(PFP)と呼び、その平面パラメータを  $\mathbf{p}$  と表記する．直線  $L_v$  と  $L_h$  の方向ベクトルを、それぞれ  $l_v$  及び  $l_h$  と表記する．また、プロジェクタの光学中心  $O_p$  の3次元位置を  $\mathbf{o}_p$  と表記する．全ての UVPP は直線  $L_v$  を含み、全ての UHPP は直線  $L_h$  を含む．また、全ての UVPP, UHPP は点  $O_p$  を含む．これより、

$$\mathbf{l}_v^T \mathbf{v}_k = 0, \mathbf{l}_h^T \mathbf{h}_l = 0, \mathbf{o}_p^T \mathbf{v}_k = 0, \mathbf{o}_p^T \mathbf{h}_l = -1 \quad (5)$$

が得られる．また、前述の特殊解  $\mathbf{q}'$  も上記の条件を満たすとする．つまり、

$$\mathbf{l}_v^T \mathbf{v}'_k = 0, \mathbf{l}_h^T \mathbf{h}'_l = 0, \mathbf{o}_p^T \mathbf{v}'_k = 0, \mathbf{o}_p^T \mathbf{h}'_l = -1 \quad (6)$$

である．また、PFP は、直線  $L_v, L_h$  と点  $O_p$  を含むので、

$$\mathbf{l}_v^T \mathbf{p} = 0, \mathbf{l}_h^T \mathbf{p} = 0, \mathbf{o}_p^T \mathbf{p} = -1, \mathbf{o}_p^T \mathbf{p} = -1 \quad (7)$$

が成立する．

式 (5), (6), (7) より,

$$\begin{aligned} \mathbf{l}_v^T (\mathbf{v}_k - \mathbf{p}) &= 0, \mathbf{l}_h^T (\mathbf{h}_l - \mathbf{p}) = 0, \\ \mathbf{o}_p^T (\mathbf{v}_k - \mathbf{p}) &= 0, \mathbf{o}_p^T (\mathbf{h}_l - \mathbf{p}) = 0, \\ \mathbf{l}_v^T (\mathbf{v}'_k - \mathbf{p}) &= 0, \mathbf{l}_h^T (\mathbf{h}'_l - \mathbf{p}) = 0, \\ \mathbf{o}_p^T (\mathbf{v}'_k - \mathbf{p}) &= 0, \mathbf{o}_p^T (\mathbf{h}'_l - \mathbf{p}) = 0, \end{aligned} \quad (8)$$

が得られる．これらの式から,  $\mathbf{v}_k - \mathbf{p}$  と  $\mathbf{v}'_k - \mathbf{p}$  が, 両方とも  $\mathbf{l}_v$  及び  $\mathbf{o}_p$  に直行することが分かる． $\mathbf{l}_v$  と  $\mathbf{o}_p$  は一般には平行ではないので, これらの両方に直行するベクトルは, スケーリングを除いて一意に決まる．これより,

$$(\mathbf{v}_k - \mathbf{p}) = s(\mathbf{v}'_k - \mathbf{p}) \quad (9)$$

が得られる．また,

$$(\mathbf{h}_k - \mathbf{p}) = s(\mathbf{h}'_k - \mathbf{p}) \quad (10)$$

である．式 (9), (10) より, 方程式 (3), (5) の一般解は,

$$\mathbf{v}_k = s(\mathbf{v}'_k - \mathbf{p}) + \mathbf{p}, \mathbf{h}_l = s(\mathbf{h}'_l - \mathbf{p}) + \mathbf{p} \quad (11)$$

の形で表される．既に述べたように,  $\mathbf{q} = [\mathbf{v}_1^T, \dots, \mathbf{v}_m^T, \mathbf{h}_1^T, \dots, \mathbf{h}_n^T]$  は特殊解の一つであり,  $\mathbf{p}$  は平面 PFP のパラメータベクトルである．式 (4) の一般解の不定性が  $L_v$  及び  $L_h$  の条件により減少した場合, 式 (11) における不定性は, スカラー値  $s$  による 1 自由度のみとなったことが分かる．

### 3.5 不定性の解消

前節の解は UVPP, UHPP に関してキャプチャされた交点のみから得られ, CVPP 及び CHPP の情報は利用されていない．そこで, 前節で求めた解と, CVPP と CHPP とのマッチングを行うことで, UVPP と CVPP, そして UHPP, CHPP との対応関係を求める．解の自由度が 1 であることから, マッチングを 1 次元探索によって効率的に行うことが出来る．

具体的なマッチング処理について述べる．最初に, 適当な UVPP を選ぶ．例えば  $v_0$  が選ばれたとする．次に,  $v_0$  に対して, CVPP  $v_1$  を対応させ, この対応から全ての UVPP, UHPP の位置, つまり  $v_1, \dots, v_m, h_1, \dots, h_n$  の位置を決める．この時得られた UVPP, UHPP の位置 ( $V_1, \dots, v_M, H_1, \dots, H_N$ ) に一致しているかどうかを評価する．同様に,  $v_0$  に対応させる CVPP を,  $v_2, v_3, \dots$  と変化させ, 各々の対応に得られた UVPP, UHPP の位置が全体として CVPP, CHPP に一致しているかどうかを評価する．UVPP, UHPP の位置が全体として最も CVPP, CHPP に一致していると判断される時の UVPP と CVPP, UHPP と CHPP のそれぞれの対応関係を求める対応関係として出力する．

## 4. 赤外線装置を用いた 3 次元復元

### 4.1 赤外線装置

図 1 のような二波長近赤外線センシング装置, 2 台の赤外ライ

ン光線発生装置 (図 2) を用いてシステムを構築する．本論文で用いた赤外ライン光線の波長は, 850nm と 940nm である．



図 1 赤外センシング装置



図 2 赤外ライン光線発生装置



図 3 計測風景



図 4 キャリブボックス



図 5 投影するパターン

### 4.2 装置のキャリブレーション

これらの装置を用いて, ラインベースのワンショットスキャンをするためには, 赤外プロジェクタと赤外カメラのキャリブレーションが必要となる．本論文では形状復元のキャリブレーション用パターンの印刷された専用のボックスを用いてキャリブレーションを行った (図 4) ．

パターンの撮影方法としては, コード化したパターンを OHP フィルムに印刷し, 赤外ライン光線発生装置の中に OHP フィルムを挿入し, 物体に投影した．これを既定の枚数のコード化パターン分, 赤外カメラで静止画としてキャプチャする．この時用いたグレーコードの例を図 5(b),(c) に示す．こうして得られた画像群からグレーコード画像を作成する．このグレーコード画像をデコードすることでカメラとプロジェクタのピクセル同士の対応関係が得られる．そこで, この対応関係を用いて赤外センシング装置の内部パラメータ, 赤外ライン光線発生装置の内部パラメータ, および外部パラメータのキャリブレーションを行う．キャリブレーションにはカメラ用のアルゴリズムが利用できる．本論文では, LM 法による手法を実装し用いた．

### 4.3 3次元計測

ワンショットでの赤外からの形状復元は以下の手順で行われる。

二つの赤外線装置から出る 850nm, 940nm の光線を、それぞれ縦と横のラインとして投射する。ここで、光源である赤外線光線発生装置の光軸は、縦と横が同一平面となるよう設置する。また、投射するパターンは既知とする。

縦と横のパターンが投射されている画像から縦ラインと横ラインをそれぞれ別々に検出しそれらの交点を求め、共面性条件を用いて、3次元復元を行う。

## 5. 実験

### 5.1 リアルタイムワンショットスキャン

ワンショットスキャンの有効性を確認するために、まず可視光を用いてマネキンの計測を行った。対象としたマネキンとパターンを投影した状態のマネキンを図 6 に示す。実験で用いたグリッドパターンは図 5(a) であり、RGB の 3 色からなる。投影パターンの解像度は 1024x768 であり、これを解像度 1024x768 の 3CCD カメラで撮影し、3次元復元を行った。

正面、背面、両側面をそれぞれワンショットスキャンによって3次元復元を行ったところ、いずれも正確な形状を復元することが出来た(図 7)。

また、各方向で計測し復元したものを ICP により位置合わせをし統合したところ、正しく全周囲を復元することが出来た(図 8)。

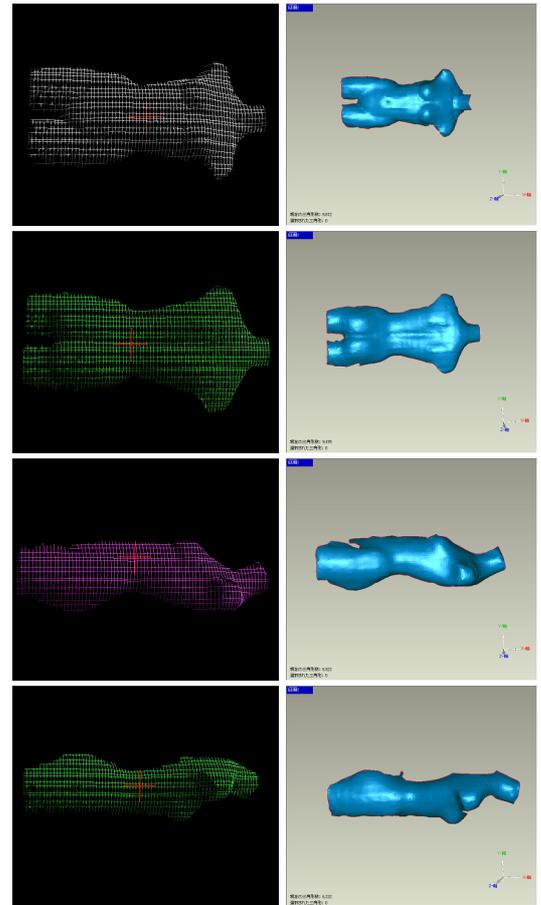


図 7 図 6 の復元結果

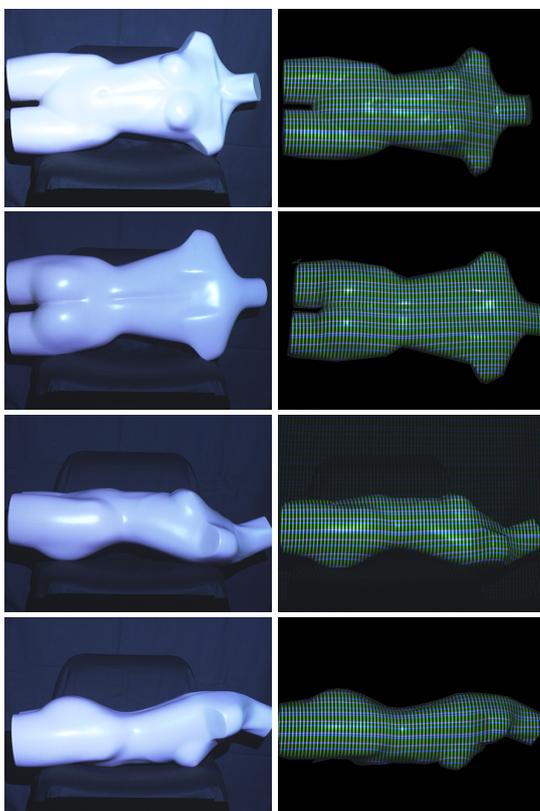


図 6 上からマネキンの正面、背面、右側面、左側面、右がパターン投影時

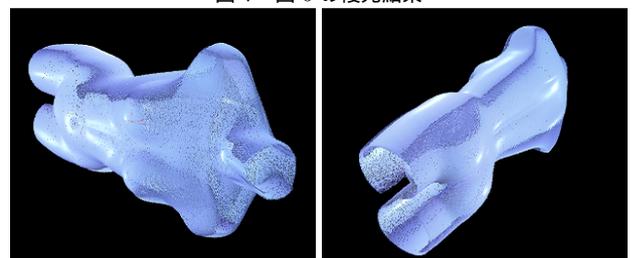


図 8 マネキンの全周囲の統合結果

### 5.2 赤外システムのキャリブレーション

図 3 のように各装置を配置し、実験を行った。キャリブレーションボックスを 4.2 節の手法により撮影し、キャリブレーションを行った。OHP に印刷したグレーコードを縦横それぞれ 20 枚用いて、キャプチャし得られたグレーコードにより、キャリブレーションを行った。

キャプチャした画像の例を図 9 の示す。キャプチャした静止画から生成した 2 値化画像を図 10 に示す。2 値化画像セットより生成したグレーコード画像を図 11 に示す。このグレーコード画像を用いてキャリブレーションを行った。

キャリブレーションによって求めたパラメータを表 1 に示す。推定されたパラメータの精度の確認のため、キャリブレーション用のボックスを推定したパラメータを用いて復元した。復元結果を図 12 に示す。ボックスの直角が再現されており、正しくキャリブレーションされていることが分かる。

表 1 赤外線ライン光線発生装置

	焦点	縦横比	画像中心	サイズ
赤外カメラ	0.027	1.09	360 240	720 480
赤外投影機	0.053	1.03	512 352	1024 768

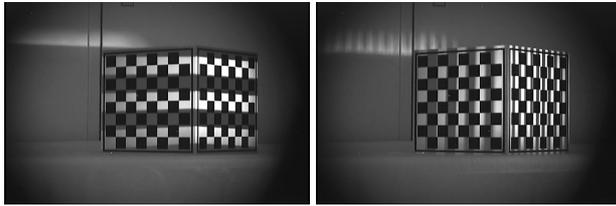


図 9 キャプチャした静止画

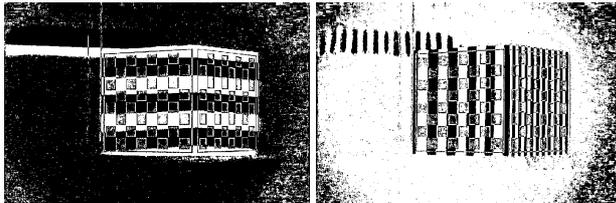


図 10 2 値化画像

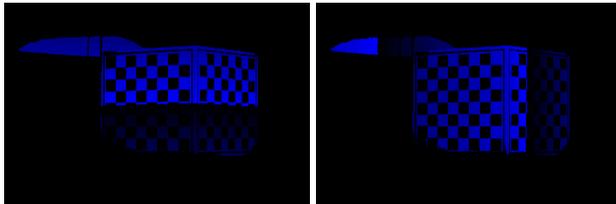


図 11 グレーコード

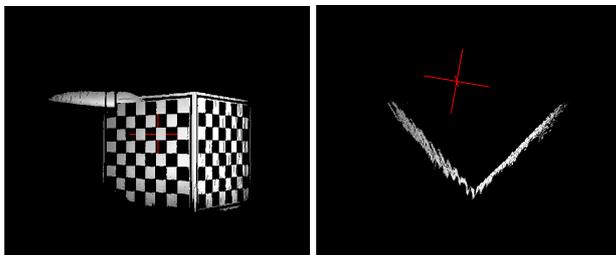


図 12 ボックスの復元結果

### 5.3 赤外線によるワンショットスキャン

最後に市販の発泡スチロールの頭部の模型のスキャンを行った。ただしワンショットスキャンでは十分なコントラストが得られなかったため、今回はパターンコード化法により復元を行った。カメラとプロジェクタのパラメータは 5.2 節で求めたパラメータを用いた。復元結果を図 13 に示す。ほぼ正しい形状で復元できていることが分かる。ただし、顔の正面方向から見ると、直線状の凹凸が観測される。これは、OHP によるパターンが設置の際にずれるために生じたと考えられる。パターンの自動撮影等によるこの問題の解消は今後の課題である。

## 6. 結 論

本論文ではワンショットスキャンを用いた人体を密に 3 次元計測する手法を提案した。利用したワンショットスキャンは、これまでの 1 フレームからの形状復元において行われてきた複数画素を用いて位置情報をコード化する方式ではなく、グリッドパターンの交点の接続情報を用いて形状を 1 パラメータの自

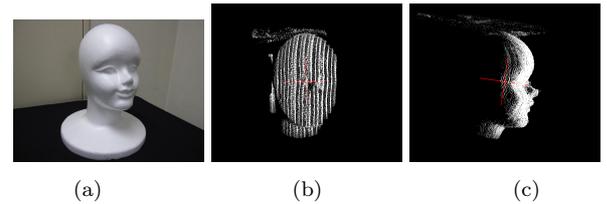


図 13 (a) 発泡スチロールの頭部, (b) 復元結果：正面 (c) 復元結果：側面

由度を残して再構成し、投影されるパターンと再構成結果の比較により、最終的な形状をする手法となっている。

本論文では、このグリッドパターンを赤外線としたシステムを提案した。赤外線を用いることで、環境光やテクスチャによる影響を受けにくく、人の目に眩しくないなどの人体に影響の少ない 3 次元復元が可能となる。予備実験として赤外線によるパターンコード化法により実験を行ったところ正しい形状が復元された。ただし、本来滑らかである物体の表面に波状の線が生じるなど、誤差も残っており、これの解消をこれから行う予定である。

今後の赤外線によるワンショットスキャンは、キャリブレーション処理の自動化などが挙げられる。

## 7. 謝 辞

本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発制度 (SCOPE) 若手 ICT 研究者育成型研究開発 (072103013) および科研費 (19700098, 19700157) の助成を受けて実施されたものである。ここに記して謝意を表す。

### 文 献

- [1] J. Salvi, J. Batlle and E. M. Mouaddib: "A robust-coded pattern projection for dynamic 3D scene measurement", *Pattern Recognition*, **19**, 11, pp. 1055–1065 (1998).
- [2] S. Zhang and P. S. Huang: "High-resolution, real-time three-dimensional shape measurement", *Optical Engineering*, **45**, 12, p. 123601 (2006).
- [3] T. P. Koninckx and L. V. Gool: "Real-time range acquisition by adaptive structured light", *IEEE Trans. on PAMI*, **28**, 3, pp. 432–445 (2006).
- [4] 川崎, 古川, 中村: "ラインレーザの自己校正による 3 次元復元手法", *画像の認識・理解シンポジウム*, pp. 142–148 (2006).
- [5] H. Kawasaki, R. Furukawa, R. Sagawa and Y. Yagi: "Dynamic scene shape reconstruction using a single structured light pattern", *CVPR*, pp. 1–8 (2008).