

人物行動解析のための複数 Kinect を用いた広域三次元計測システム

中澤 満[†] 満上 育久[†] 波部 斉^{††} 山添 大丈[†] 八木 康史[†]

[†] 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

^{††} 近畿大学 理工学部

〒 577-8502 大阪府東大阪市小若江 3-4-1

E-mail: [†]{nakazawa,mitsugami,yamazoe,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp, ^{††}habe@info.kindai.ac.jp

あらまし 本稿では環境中に複数台の Kinect を配置することで、人物を含む広域な環境全体を三次元計測するシステムを提案する。環境全体を密に計測するためには Kinect を密な間隔に配置する必要がある一方、密に配置すると Kinect 相互の投影光の干渉によって計測データが欠損する。本システムでは、計測データが欠落しないよう Kinect の間隔を空けた配置においても Kinect の位置姿勢パラメータを高精度に推定する手法を適用することで、広域での三次元計測を可能としている。

キーワード 三次元計測, 形状復元, キャリブレーション, Kinect

Three-dimensional Measurement System using Multiple Kinects for Analyzing Human Activities

Mitsuru NAKAZAWA[†], Ikuhisa MITSUGAMI[†], Hitoshi HABE^{††}, Hirotake YAMAZOE[†], and
Yasushi YAGI[†]

[†] ISIR, Osaka Univ.

8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

^{††} Faculty of Science and Engineering, Kinki Univ.

3-4-1 Kowakae, Higashiosaka-City, Osaka, 577-8502

E-mail: [†]{nakazawa,mitsugami,yamazoe,yagi}@am.sanken.osaka-u.ac.jp, ^{††}habe@info.kindai.ac.jp

Abstract In this paper, we propose a three-dimensional measurement system of a large environment including persons using multiple Kinects. While Kinects need to be located closely for the dense measurement, the location causes an increase of missing areas in their depth maps because of the inference of their infrared speckle patterns. In our system, we achieve the measurement of a large environment by applying a method that can calibrate Kinects accurately even if they are located at intervals.

Key words 3D measurement, Shape reconstruction, Calibration, Kinect

1. はじめに

人物を含む環境の動的な三次元形状は、その人物の行動を理解する上で重要な情報の一つであり、マーケティングやセキュリティ、コミュニケーションロボットといった分野での利用が期待される。

この三次元形状を取得する手法にはマルチカメラを用いた Shape-from-Silhouette 法 [1] が挙げられ、既に研究グループがこの手法を用いて人物の動く様子を三次元計測している [2] [3]。

しかしながら、この手法を用いて精度よく三次元形状を計測するには、計測対象を取り囲むように複数の視点から撮影する必要があるため、広域計測には適していない。また Furukawa ら [4] は複数のカメラとプロジェクタを用いてワンショットスキャンによる形状取得システムを構築している。使用するカメラとプロジェクタの台数を増やすことでこのシステムの計測範囲を広げることが可能であるが、広域計測では多数のカメラとプロジェクタが必要となるため費用の面から現実的でない。近年、Kinect [5] といった安価なレンジセンサが一般に市販さ

れるようになった。この Kinect は安価にも関わらず、レンジデータとカラー画像の両方が同時に取得できるという利点を持つ。このような Kinect の利点を活かし、我々は環境中に複数の Kinect を配置することで、環境を広域にわたって三次元計測するシステムを提案する。

システムを設計するにあたり、環境中に配置する Kinect の間隔は、密にすることで計測対象のレンジデータを密に取得できる一方、Kinect 相互の投影光の干渉によってレンジデータ中に欠損が現れる問題があるため、慎重に検討する必要がある。そこで本稿では、まず隣接する Kinect の設置間隔を変化させた時にレンジデータ中でどのように欠損が現れるか観察し、計測対象上のレンジデータが欠落しないような適切な Kinect の空間配置を検討する。そして、レンジデータに欠損が生じないように Kinect の間隔を空けた配置においても Kinect の外部パラメータを高精度に推定できる手法を提案する。

2. 人物行動解析のための環境設計

複数の人物が自由に行動できるよう、全長約 15 m と十分な歩行路長を持つ廊下状の環境を構築した。ここで、環境中にて人物が余裕を持ってすれ違いができるように、歩行路の幅は約 2.5 m とした。更に歩行路上を行動する人物を環境全体に渡り計測できるように、歩行路に対して向かい合うよう廊下の両側に Kinect を設置する。Kinect の設置高さは約 2.0 m とし、設置向きは床面を歩く人物の全身を撮影出来るよう下方に定めた。

3. Kinect の空間配置の検討

1. で言及した通り、システムを設計するにあたり、干渉によって計測対象上のレンジデータに欠損が現れないような Kinect の配置間隔を検討する必要がある。そこで本章では 2. で述べた廊下状の環境の一部 (図 1(a)) にて、隣接する Kinect との距離 L を変化させながらレンジデータを取得することで、Kinect の設置間隔と干渉によるレンジデータの欠損の関係を観察する。ここで、床面や壁面といった静的な計測対象は、事前に他の Kinect の電源を切りながら一台ずつレンジデータを撮影しておくことで干渉の影響を受けない三次元計測が可能である。そこで本章では、動的な計測対象に限定して干渉の影響を観察する。

図 1(b) に示す通り環境の中央に計測対象を配置し、隣接する Kinect との距離 L を 0.5 m から 3.0 m まで変化させながらレンジデータを撮影した (図 2)。ここでレンジデータは計測距離が遠くなるほど輝度が低い色で表現されており、白色は欠損を意味する。距離 L が短くなるに従って欠損領域が増加しているのは、隣接する Kinect から照射された赤外線パターンが重複し、レンジデータの取得が困難になったためである。特に距離 L が 1.5 m 以下の場合には対象物体上に欠損が多く現れており、計測に適したレンジデータが取得できていないことが分かる。一方、距離 L が 2.0 m 以上の場合には対象物体上に欠損が現れていない。ここで、床面には欠損が多く現れているのに対し、対象物体上には欠損が現れていないのは、床面に赤外線パターンを照射する Kinect が図 1(a) の上側・下側の両側に存在

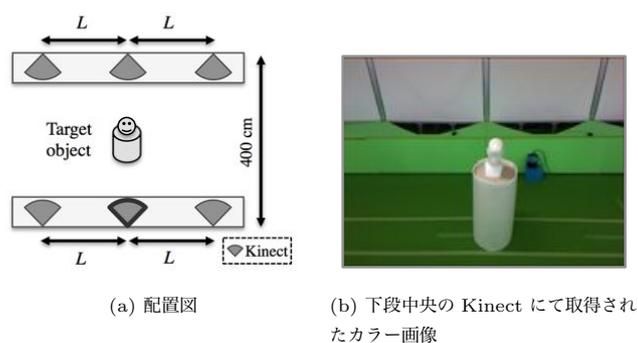


図 1: Kinect の空間配置を検討するための予備実験環境

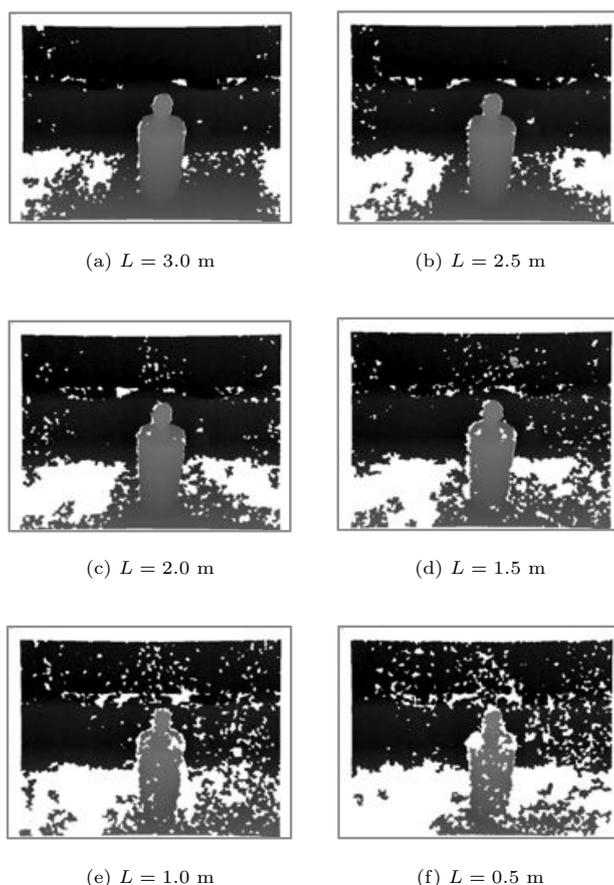


図 2: 隣接する Kinect との距離 L と干渉によるレンジデータの欠損の影響

する一方、対象物体上の場合には上側または下側のいずれかのみであり、結果、対象物体上ではレンジデータが欠損するほどの干渉が起きていないからである。

以上の結果を踏まえ、我々は環境に取り付ける Kinect の間隔を 2.0 m と定めた。

4. 空間配置を考慮したキャリブレーション

設置された Kinect より取得されるレンジデータを世界座標系へ変換することで環境全体を三次元復元することができる。ただ、この変換をするためには焦点距離やレンズ歪み係数などといった Kinect の内部パラメータと世界座標系での Kinect の位置姿勢を表す外部パラメータを取得する必要がある。Kinect

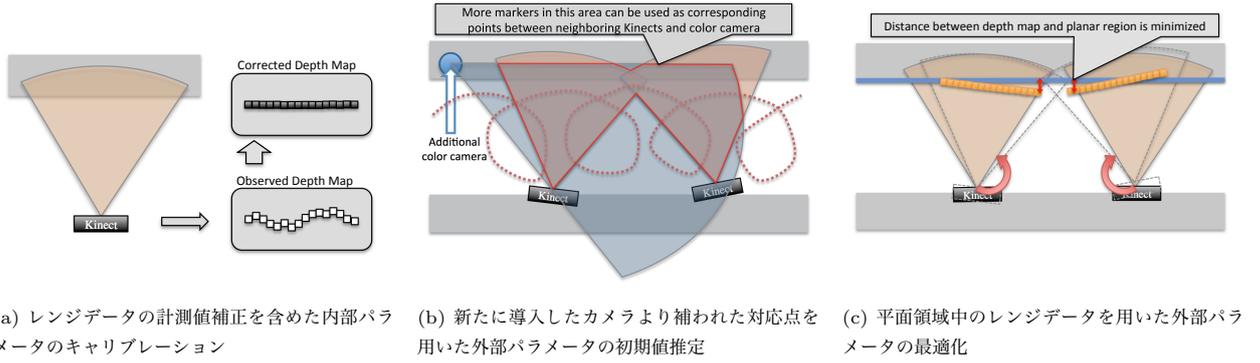


図 3: 提案手法の概略図

の内部パラメータは代表的な手法である Zhang の手法 [8] を適用することでキャリブレーションが可能である。そこで以降、Kinect の外部パラメータをキャリブレーションする方法に焦点を当て、適切な方法を検討していく。

Kinect の外部パラメータをキャリブレーションをするには、Kinect 間での対応点、つまりカメラの場合にはカラー画像中の二次元の対応点、レンジセンサの場合にはレンジデータ中の三次元の対応点を取得する必要がある。Kinect のレンジセンサは計測できる最長距離が 4 m 程度であり、カメラに比べ遠方に映る対応点の取得が困難である。ゆえに、我々はまずカメラからキャリブレーションすることとした。カメラの外部パラメータをキャリブレーションする代表的な手法にはバンドル調整に基づく手法が挙げられる [6]。しかし、我々が想定する計測環境では Kinect 間で重複する領域が少なく、カメラ間の対応点を十分に得られない。そこで我々は環境全域を撮影できるようなカメラを新たに導入することで、キャリブレーションに必要なカメラ間の対応点を補う。これより Kinect 間で重複領域が少ない環境下においてもバンドル調整に基づきカメラパラメータを推定することが可能となる。しかしながら、対応点が Kinect 間で直接得られていないこと、またカメラの遠方に映る対応点は解像度の低下より誤差を含むことから、上記のパラメータ推定だけでは高精度な外部パラメータを取得できない問題がある。

この問題を解決するべく、我々は推定されたパラメータを初期値にレンジデータを用いて外部パラメータを最適化することで高精度化を図る。ここで、外部パラメータの最適化のために隣接 Kinect 間でレンジデータを局所的に位置合わせした場合、個々の位置合わせの累積誤差によってレンジデータ全体を正しく位置合わせできないことが予想される。そこで我々は、一般環境中で容易に位置を計測できる床や壁といった平面領域を基準にし、各 Kinect でレンジデータの位置合わせをすることで外部パラメータを最適化する。この手法は隣接する Kinect 間で重複領域を必要とせず、我々が想定している計測環境下にて適用可能である。

本手法の概略図を図 3 に示す。まず、カメラの内部パラメータをキャリブレーションする。ここで、Kinect のレンジデータは計測距離に従い誤差が増加すること [7] を踏まえ、レンジデータの計測値も併せてキャリブレーションする (図 3(a))。そし

て、環境中に新たに導入したカメラより補われた対応点を用いて、カメラの外部パラメータの初期値を推定する (図 3(b))。最後に、外部パラメータの精度を向上させるために、平面領域の位置を基準にその領域中のレンジデータの位置を合わせることでパラメータを最適化する (図 3(c))。ただ、この最適化では平面と平面上に分布するレンジデータの位置合わせをしているため、平面上で一意に位置合わせができない開口問題が生じる。そこで最適化の際にカラー画像で取得された対応点も併せて用いることとする。以降、各々の処理の詳細を説明する。

4.1 内部パラメータのキャリブレーション

Kinect 内部ではカメラとレンジセンサが独立しているため、カラー画像とレンジデータはそれぞれ異なる座標系で表現される。そこで、工場出荷時のセンサ間のキャリブレーション情報を用いて、レンジデータとカラー画像の位置を合わせることで双方を共通した座標系で表現する。世界座標系における点 \mathbf{X} はセンサ間で共通の画像座標系上の点 \mathbf{m} へ投影される。

$$\lambda \tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{P} \tilde{\mathbf{X}} = \mathbf{A} [\mathbf{R} | \mathbf{t}] \tilde{\mathbf{X}} \quad (1)$$

$\tilde{\mathbf{X}}$ 、 $\tilde{\mathbf{m}}$ は \mathbf{X} と \mathbf{m} を斉次座標で表したものである。また \mathbf{A} はカメラの内部パラメータ行列、 \mathbf{R} と \mathbf{t} はカメラの回転行列、並進ベクトルである。 i 番目の Kinect の内部パラメータ行列 \mathbf{A}_i を取得するべく、Zhang の手法を適用する。

更に、個々の Kinect でレンジデータの計測値をキャリブレーションする。これは、事前の観察で計測距離に従い増加するレンジデータの誤差分布が Kinect 毎で傾向が見られたためである。レンジデータをキャリブレーションするべく、誤差が計測距離の二乗に比例するという報告 [7] に従い誤差モデルを次式のように定めた。

$$e(\mathbf{m}) = a_i^{(m)} d(\mathbf{m})^2 \quad (2)$$

ここで $a_i^{(m)}$ はカメラ座標系上の点 \mathbf{m} における誤差の二乗係数であり、 $d(\mathbf{m})$ と $e(\mathbf{m})$ は計測距離とその誤差である。係数 $a_i^{(m)}$ を取得したことで、レンジデータの計測誤差は次式より補正することができる。

$$D(\mathbf{m}) = d(\mathbf{m}) - e(\mathbf{m}) = d(\mathbf{m}) - a_i^{(m)} d(\mathbf{m})^2 \quad (3)$$

ここで $D(\mathbf{m})$ はカメラ座標系上の点 \mathbf{m} における補正された計

測値である。

係数 $a_i^{(m)}$ を取得するために、我々は [9] で採用されている手法と同様の手法を採用する。まず、各々の Kinect を複数の計測地点で壁に対して水平になるよう設置し、レンジデータを撮影する。そして、取得されたレンジデータと真値である壁から計測地点までの距離の関係から最小二乗法を用いてカメラ座標系上の各点で誤差の二乗係数を算出する。

4.2 外部パラメータの初期値推定

バンドル調整に基づき、外部パラメータ、すなわち式 (1) の \mathbf{R} と \mathbf{t} の初期値を推定する。ただし、推定された外部パラメータには相似変換の不定性があり、Kinect 間の相対的な位置関係を表しているに過ぎない。

4.3 外部パラメータの最適化

前節で述べた通り推定されたパラメータには相似変換の不定性が残っているため、まず 3 次元位置を計測したマーカ点を用いてパラメータをメトリックな世界座標系へ変換する。

そして、Kinect から取得されるレンジデータとカラー画像の双方を用いてカメラの外部パラメータを最適化する。ここで最適化するパラメータ数が増加しないよう、事前に内部パラメータを正確に取得しておき、最適化の対象から除外することで安定した最適化を図った。外部パラメータは、カラー画像中の対応点の平均誤差 E_l と平面領域中のレンジデータの平均誤差 E_p の双方が最小になるよう Levenberg-Marquard 法を用いて最適化される (式 (4))。

$$\hat{\mathbf{R}}_1, \hat{\mathbf{t}}_1, \dots, \hat{\mathbf{R}}_N, \hat{\mathbf{t}}_N = \underset{\mathbf{R}_1, \mathbf{t}_1, \dots, \mathbf{R}_N, \mathbf{t}_N}{\operatorname{argmin}} (E_l + E_p) \quad (4)$$

E_l は対応点が映る 2 台のカメラのそれぞれにて光学中心と画像平面上の対応点を通る直線を引き、その二直線間距離を算出することで求められる。ここで k 番目の対応点が映る i 番目と j 番目のカメラにおける二直線間距離を $l_{ij}^{(k)}$ と定義する。 E_l はこの $l_{ij}^{(k)}$ を用いて式 (5) より算出される。

$$E_l = \frac{1}{N_{\text{pnt}}} \sum_{k=1}^{N_{\text{pnt}}} \left(\frac{1}{C_{\text{cam}}^{(k)}} \sum_{i,j=1, i \neq j}^{N_{\text{cam}}} l_{ij}^{(k)} \right) \quad (5)$$

$$l_{ij}^{(k)} = \frac{|(\mathbf{v}_i \times \mathbf{v}_j) \cdot \mathbf{t}_{ij}|}{|\mathbf{v}_i \times \mathbf{v}_j|} \quad (6)$$

ここで \mathbf{v} はカメラの光学中心から画像平面上の対応点へのベクトル、 \mathbf{t}_{ij} は \mathbf{t}_i から \mathbf{t}_j へのベクトルである。また N_{cam} はカメラの総数、 N_{pnt} は対応点の総数であり、 $C_{\text{cam}}^{(k)}$ は k 番目の対応点が映るカメラから二台を選出する組み合わせ総数である。実際、 E_l は対応点の再投影誤差とほぼ同義であるが、次に説明する E_p と同じメートル尺度で表現できるため、本手法では E_l を採用している。

一方、 E_p は平面領域中のレンジデータの誤差の平均である。ここで誤差 p_j を平面領域 Π 中のレンジデータを世界座標系に変換した点群から平面 Π までの距離の総和で定義する。 E_p はこの p_j を用いて式 (7) より算出される。

$$E_p = \frac{1}{N_{\text{kin}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{kin}}} \sum_{i=1}^{N_{\Pi}} \left(\frac{1}{A_{\Pi_i}} p_j(\Pi_i) \right) \quad (7)$$

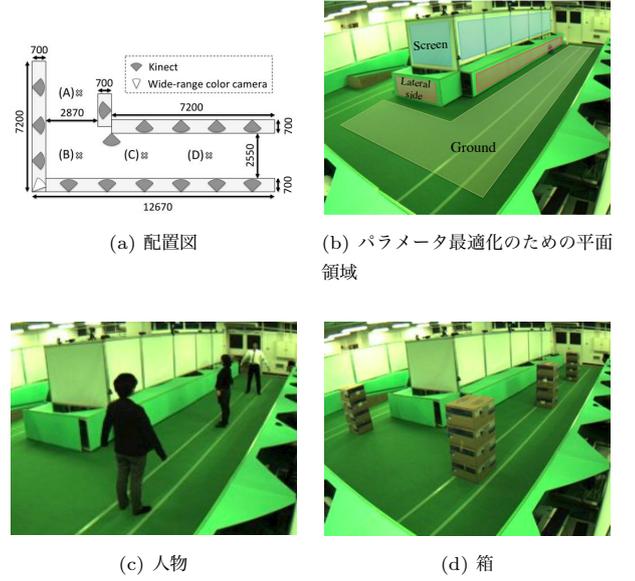


図 4: 実験環境の様子

$$p_j(\Pi_i) = \sum_{\mathbf{m} \in \Pi_i} h(\mathbf{X}_O(\mathbf{m}), \Pi_i) \quad (8)$$

ここで N_{kin} は Kinect の総数、 N_{Π} は平面領域の総数、 A_{Π} は平面領域の面積である。また、 $\mathbf{X}_O(\mathbf{m})$ はカメラ座標系上の点 \mathbf{m} のレンジデータを世界座標系に変換した点、 h は三次元点と平面間の距離関数である。

本来であれば目的関数 $E_l + E_p$ を最小化すべきであるが、最適化対象の外部パラメータを微小変化させた時の影響が E_l と E_p で異なるために、容易に局所解に陥る問題がある。そこで我々は、次式の通り目的関数の要素に対して重み係数 λ を導入した最適化を行う。

$$\hat{\mathbf{R}}_1^{(\lambda)}, \hat{\mathbf{t}}_1^{(\lambda)}, \dots, \hat{\mathbf{R}}_N^{(\lambda)}, \hat{\mathbf{t}}_N^{(\lambda)} = \underset{\mathbf{R}_1, \mathbf{t}_1, \dots, \mathbf{R}_N, \mathbf{t}_N}{\operatorname{argmin}} ((1 - \lambda)E_l + \lambda E_p) \quad (9)$$

具体的には、まず重み係数 λ の値を複数用意し、各々の重み係数で最適な外部パラメータを取得する。そして重み係数 λ ごと求められた外部パラメータの中でも本来の目的関数 $E_l + E_p$ を最小化するパラメータを最終的な解として採用する。この重み係数 λ を導入する効果は 5.2 にて議論する。

5. 実験

5.1 実験概要

2. での述べた廊下状の環境中を行動する人物を計測するため、設置された Kinect より人物を含めた環境全体を復元する。ここで環境の配置図を図 4(a) に示す。

Kinect 間で重複領域が少ない環境下においても高精度にキャリブレーションできるよう、4. で述べた通り、まず環境を全域に渡って撮影できるようなカメラを新たに導入し、カメラ間の対応点を補うことで、外部パラメータの初期値を推定した。新たに導入されたカメラから取得されるカラー画像を図 4(b) に示す。そして、図 4(b) に映る床・スクリーン・緑色のパネルといった平面領域中のレンジデータを用いて外部パラメータを最

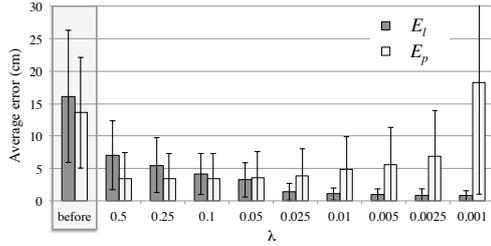


図 5: λ と目的関数の各要素 (E_l , E_p) の関係. エラーバーは標準偏差を表す.

適化した. この平面領域のレンジデータが干渉による影響を受けないようにするため, 事前に他の Kinect の電源を切りながら一台ずつレンジデータを撮影した. また, 平面領域の位置精度は, 図 4(a) の配置図に従い墨出し器や測量器を用いて厳密に環境を構築したため, 約 ± 0.5 cm と高精度な値で得られている.

外部パラメータの初期値を推定するために, 環境中で LED ライトを先端につけた棒を振り回し, ライトの光源をカラー画像の対応点として取得した. また, カラー画像の非同期撮影の影響を低減するべく, LED ライトを極力低速で振り回しただけならず, 全カメラ共通の時刻での対応点を補間処理から生成した. 具体的には, まず全カメラにおける共通時刻を一定間隔で定めた. そして各々のカメラで撮影された対応点とタイムスタンプを元に, 共通時刻の対応点を線形補間より生成した. 推定されたパラメータは事前に三次元位置を計測した 8 点のマーカを用いて, 世界座標系へ変換した.

5.2 目的関数の要素に対する重み係数 λ の導入効果

4.3 に従い, λ を 0.5 から 0.001 まで複数用意し, それぞれの λ で外部パラメータを最適化した. 図 5 は各々の λ と最適化後の目的関数の各要素 E_l , E_p の関係を表したグラフである. グラフから分かるように 本来の目的関数 $E_l + E_p$ が最小値を取るのには λ が 0.5 の時ではなく, 0.025 の時である. λ が 0.5 の時の結果が本来の目的関数をそのまま最適化した結果と同義であることを踏まえると, 本来の目的関数をそのまま最適化すると局所解に陥っていたが, 複数の λ を導入して最適化することでより正確なパラメータが取得できたことがいえる. また我々は λ を複数用意せず済むよう λ を最適化の対象に加えてみたが, 結果 λ は極めて小さい値となり, 外部パラメータも不適切な値となった. これより, 我々が提案した複数の λ を用いた最適化手法が適切であったといえる. 以後の実験では, λ が 0.025 の時に得られた外部パラメータを採用し環境を復元する.

5.3 環境の三次元復元結果

取得された内部・外部パラメータを用いて全 Kinect のレンジデータを世界座標系に変換することで, 環境を三次元復元する. ここで, 干渉の影響からレンジデータ中には欠損が生じたが, 計測値が変化するような現象は確認されなかった. ゆえに欠損領域以外のレンジデータを用いた環境復元が可能である.

実験では, まず提案したキャリブレーション手法の有効性を確認するため, 図 4(a) 中の地点 (B) から (D) に計測対象を置

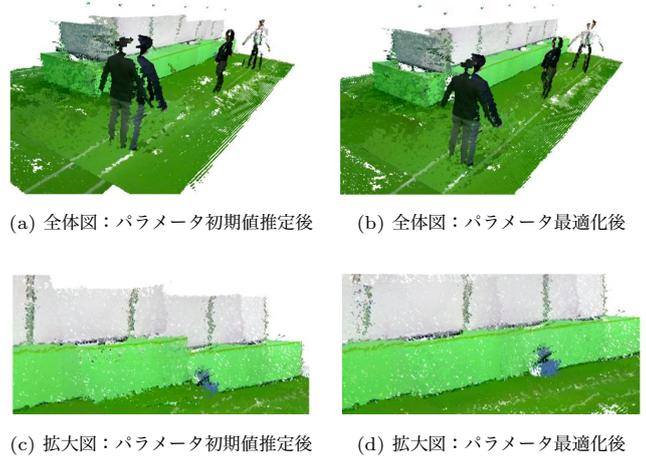


図 6: 実験環境の三次元復元結果

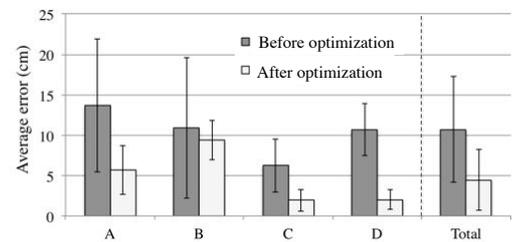


図 7: 箱の側面の位置からその表面上にあるレンジデータまでの距離の平均. エラーバーは標準偏差を表す.

いて環境を復元したときに, 外部パラメータの初期値推定後と最適化後で復元結果にどのような違いが現れるか比較する. 更に環境中を自由歩行する人物の時系列形状を取得することで, 本システムの目的である広域での三次元計測が可能であるかどうかを検証する.

5.3.1 人を含む環境全体の復元結果

図 4(a) 中の各地点に人物を配置し (図 4(c)), 環境を復元した. 図 6 の (a) と (b) は外部パラメータの初期推定後と最適化後それぞれの復元結果である. ここで復元結果の視点は外部パラメータの初期値を推定する際に新たに導入されたカメラの視点と合わせている. 図 6 の (a) と (b) を比較すると, (a) では人物形状が分離または重複して復元されているのに対し, (b) では人物らしい形状が復元されていることが分かる. また, 図 6 の (c) と (d) は (a) と (b) 中の遠方に映る緑色のパネルにあわせて復元結果を拡大した図である. 外部パラメータの初期値推定後 (図 6(c)) では, 本来真っ直ぐ繋がっているパネルが段々状に復元されている. これは, 新たに導入されたカメラの遠方で解像度の低下による対応点の誤差が大きくなったためであると考えられる. しかし, このような場所であっても外部パラメータを最適化することで図 6(d) のように自然な復元結果が取得できている.

5.3.2 復元結果の定量比較

まず, 図 4(a) 中の各地点に寸法が既知である段ボール箱を設置し (図 4(d)), それらの設置位置を測定した. この時の段ボール箱の測定誤差は約 1.0 cm であった. そして, 段ボール



図 8: 自由歩行する人物の時系列形状

箱の側面上にあるレンジデータを世界座標系に変換することで得られる点群から測定された側面の位置までの距離を誤差とし、復元結果を定量評価した。また今回、地点 (A) にも段ボール箱を置くことで、環境の端における復元精度も併せて評価した。

図 7 に外部パラメータの初期推定後と最適化後それぞれで定量評価した結果を示す。地点 (A), (B) と (C), (D) で復元精度が大きく異なるのは、(A) や (B) は (C) や (D) に比べて Kinect の台数が少なく、かつ外部パラメータの最適化で用いる平面領域が少ないためである。また地点 (C), (D) に注目すると、外部パラメータの最適化後では平均誤差が約 2 cm まで減少していることが分かる。Kinect は計測距離 2.5 m で約 2 cm の計測誤差を持つこと [7] を踏まえると、我々の復元精度は十分に良い結果であったといえる。

5.3.3 自由歩行する人物の広域三次元計測

人物を広域にわたって三次元計測するべく、環境中を自由歩行する 3 人の人物を撮影し、本システムを用いて各時刻での人物形状を復元した。ここで Kinect は同期撮影ができないため、Kinect 間で同一時刻のレンジデータを取得することはできない。そこで今回、Kinect 間の共通時刻を一定間隔で定め、各 Kinect で共通時刻と最も近い時刻に撮影されたレンジデータを用いて人物形状を復元することとした。

図 8 は本システムより取得された時系列人物形状を 1 秒間隔で選出し描画した結果である。非同期撮影の影響から人物形状中に歩行方向へのずれや腕振りによるぶれが見られるものの、時系列人物形状を大まかに復元できていることが確認できる。

6. おわりに

本稿では、人物行動を解析するために環境中に配置された複数台の Kinect を用いて、人物を広域にわたり三次元計測するシステムを構築した。計測に当たり、Kinect の投影光の干渉によってレンジデータの人物領域中に欠損が現れないよう Kinect の間隔を空けた配置においても、外部パラメータを高精度に推定できる手法を提案した。具体的にはまず、環境全域を撮影できるようなカメラを新たに導入することで対応点を補い、パラメータの初期値を推定した。そして平面領域中のレンジデータを用いてパラメータの最適化を行った。実験では、本システムを用いて人物を広域にわたって三次元計測できることを確認

した。

今後は、Kinect 間で擬似的に時間同期されたレンジデータを生成することで、非同期撮影による形状ずれの低減を図る。具体的には [10] を参考に、レンジデータに対する時間超解像手法 [11] を用いて同一時刻のレンジデータを生成することで、より正確な人物形状が取得できるシステムを目指す。

謝辞 本研究は、科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST) の支援のもとに推進された。

文 献

- [1] A. Laurentini, "How far 3d shapes can be understood from 2d silhouettes," IEEE Trans. on PAMI, vol.17, no.2, pp.188–195, 1995.
- [2] T. Matsuyama, X. Wu, T. Takai, and S. Nobuhara, "Real-time 3d shape reconstruction, dynamic 3d mesh deformation, and high fidelity visualization for 3d video," CVIU, vol.96, no.3, pp.393–434, 2004.
- [3] J. Starck, A. Maki, S. Nobuhara, A. Hilton, and T. Matsuyama, "The multiple-camera 3-d production studio," IEEE Trans. on Circ. and Syst. for Video Technology, vol.19, no.6, pp.856–869, 2009.
- [4] R. Furukawa, R. Sagawa, H. Kawasaki, K. Sakashita, Y. Yagi, and N. Asada, "One-shot entire shape acquisition method using multiple projectors and cameras," Proc. of forth Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology, pp.107–114, 2010.
- [5] <http://www.xbox.com/en-US/kinect>
- [6] B. Triggs, P. McLauchlan, R. Hartley, and A. Fitzgibbon, "Bundle adjustment - a modern synthesis," Lecture Notes in Computer Science, vol.1883, pp.298–372, 2000.
- [7] K. Khoshelham and S.O. Elberink, "Accuracy and resolution of kinect depth data for indoor mapping applications," Sensors, vol.12, no.2, pp.1437–1454, 2012.
- [8] Z. Zhang, "A flexible new technique for camera calibration," IEEE Trans. on PAMI, vol.22, no.11, pp.1330–1334, 2000.
- [9] A. Weiss, D. Hirshberg, and M. Black, "Home 3d body scans from noisy image and range data," Proc. of ICCV, pp.1951–1958, 2011.
- [10] M. Nakazawa, I. Mitsugami, Y. Makihara, H. Nakajima, H. Yamazoe, H. Habe, and Y. Yagi, "Dynamic scene reconstruction using asynchronous multiple kinects," Proc. of ICPR2012 (Accepted), 2012.
- [11] H. Nakajima, Y. Makihara, H. Hsu, I. Mitsugami, M. Nakazawa, H. Yamazoe, H. Habe, and Y. Yagi, "Point cloud transport," Proc. of ICPR2012 (Accepted), 2012.