# 人検出結果に基づく自己カメラキャリブレーションと3次元位置推定

A Method for Estimating 3D Position and Camera Self-Calibration

Based on Results of Human Detection

# 安藤寛哲† 藤吉弘亘†

Hiroaki Ando†, Hironobu Fujiyoshi†

## †中部大学大学院工学研究科

†Department of Computer Science, Chubu University E-mail: ah@vision.cs.chubu.ac.jp, hf@cs.chubu.ac.jp

## Abstract

本稿では、人検出結果に基づくカメラの自己キャリ ブレーション手法を提案する.提案手法は、推定する シーンに対し人検出と人領域のセグメンテーション結 果から、人の位置と高さを抽出し、複数人の高さと位 置情報と透視投影モデルにおける世界座標と画像座標 の関係を用いてカメラ位置の自己キャリブレーション を行う.一般的にカメラキャリブレーションを正確に 行うには大変な労力を要するが、提案手法は画像中か ら自動的に抽出したパラメータを用いて、自己キャリ ブレーションを行うため、未校正のカメラにおいても 物体の3次元位置を推定することが可能となる.評価 実験により、人領域のセグメンテーション結果を用い ることで、カメラパラメータの推定精度を向上させる ことができた.

## 1 はじめに

近年,公共施設だけではなくオフィスや一般家庭へ の監視カメラの普及とともに,物体検出や追跡などの 動画像処理技術による監視システムの需要が高まって いる.特に,映像中から人を検出[1,2]し,人の3次元 位置情報や身長を知ることは,場所に応じた人数カウ ントや人流測定において重要である.小川らは,人の 身長と位置情報の推定に,3次元空間の光線情報に基づ く手法を提案した [3].この手法では, Tsai モデル [4] に基づきカメラキャリブレーションを行い,カメラの 内部パラメータと外部パラメータを用いて人の位置と 身長の推定を行う.キャリブレーションにより求めたカ メラパラメータを利用することで,画像中の2次元座 標と世界座標における3次元座標の関係を求めること が可能となる.しかし,一般的にカメラキャリブレー ションは,画像中の座標に対応する世界座標を与える 必要があり,広い範囲でのキャリブレーションは難し

く,正確に行うには大変な労力が必要となる.

一方,手間を必要としない自己カメラキャリプレー ションの手法も多く提案されている.Lvらは,歩行者 を背景モデルとの差分から算出し,歩行者の頭と足下 の位置検出し,画像中の人の高さ世界座標と画像座標 の関係を用いて,消失点と水平線を算出することによ り,カメラの自己キャリプレーション手法を提案してい る[5].しかし,Lvらの手法では,ノイズ等の影響によ り画像中から人の大きさを安定して取得できないとい う問題がある.また,Hoiemらは,入力画像から物体 の検出を行い,検出結果から得られた複数の物体高さ の情報と,入力画像における三次元の面構造と消失点 を推定して,自己カメラキャリブレーションする手法 を提案している[6].これらの物体検出に基づくカメラ の自己キャリブレーション手法では,参照する物体の 高さ(例えば人の高さ)を精度良く求める必要がある.

そこで、本稿では人領域のセグメンテーション結果 に基づくカメラの自己カメラキャリブレーション手法 を提案する.提案手法は、推定するシーンに対し人検 出と人領域のセグメンテーションを行う画像から抽出 した複数の人の高さと位置情報と透視投影モデルにお ける世界座標と画像座標の関係を用いてカメラの自己 キャリブレーションを行う.また、自己キャリプレー ションの結果を用いることにより、未校正のカメラに おいても3次元位置の情報を推定することができる.

## 2 人領域のセグメンテーション

提案手法では,単眼のカメラで撮影された映像から, 画像中の物体の高さと位置,透視投影モデルにおける 世界座標と画像座標の関係を用いて,カメラの自己キャ リブレーションを実現する.本手法では,画像中の物 体の高さ情報を用いてカメラパラメータを高精度に推 定するため,人領域を正確にセグメンテーションする 必要がある.



図1 人領域のセグメンテーション処理の流れ

本手法では,人領域のセグメンテーション手法に,村 井らの提案した弱識別器の応答による類似シルエット の選択を用いたセグメンテーション手法[7]を用いる. この手法は,人検出器の学習と学習サンプルに対応す るシルエット画像のスコアからハッシュテーブルを求 めるオフライン処理と,入力画像からラスタスキャン による人検出を行い Chamfer Matching を用いてセグ メンテーションを行うオンライン処理から構成される. 処理の流れを図1に示し,以下に詳細を述べる.

# **2.1** 人検出器の構築

人検出法として HOG (Histograms of Oriented Gradients)特徴量[1]を用いた Real AdaBoost[8]による人 検出器を用いる.HOG 特徴量は1つの局所領域内にお けるエッジ方向ごとのエッジ強度に着目した特徴量で あり,照明変動と,局所的な幾何学的変化に頑健な特 徴量である.人検出では,この HOG 特徴量を予め用 意した学習サンプルから算出し,Real AdaBoost によ り人検出器の構築を行う.

#### 2.2 シルエット画像のスコア算出

入力画像から人検出を行い,シルエット画像のマッチ ングを行う候補領域を推定する.構築した検出器を用 いてシルエット画像のスコアを算出する.シルエット のスコアとは,人検出器の各弱識別器の応答値を多次 元のベクトルとして表現したものである.まず,学習 サンプルからシルエット画像を作成する.次に,作成 したシルエット画像に対応する学習サンプル(ポジティ ブのみ)を構築した人検出器に入力する.入力画像に対 して各弱識別器は人か人以外を識別した結果として返 す.T個の弱識別器に対応したT次元の特徴ベクトル を対応するシルエット画像のスコアとする.

#### 2.3 ハッシュテーブルの作成

算出したシルエット画像のスコアは、Chamfer Matching を行う対象領域に類似したシルエットを選択するために使用する.シルエット画像のスコアを記録したハッシュテーブルを作成することで高速な類似シルエット画像検索を実現する.ある一つのシルエット画像 y から算出された弱識別器の応答に基づくスコアを,T 次元の特徴ベクトル  $\mathbf{y} = \{h_1(y), h_2(y), \cdots, h_T(y)\}$ とする.まず、次式により各次元の特徴量を2値化し、ビットベクトル  $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \cdots, u_T)$ を作成する.

$$u_j = \begin{cases} 1 & if \quad h_j(y) \ge 0\\ 0 & otherwise \end{cases}$$
(1)

次に,以下の式を用いて,ハッシュテーブルのインデックス *H<sub>index</sub>* を求め,ハッシュテーブルに特徴ベクトルとシルエット画像の ID を登録する.

$$H_{index} = \left(\sum_{i=1}^{T} u_i 2^i\right) \mod H_{size} \tag{2}$$

ここで, *H<sub>size</sub>* はハッシュテーブルのサイズである.以上の処理をすべてのシルエット画像に対して行い,ハッシュテーブルを作成する.

2.4 類似シルエットの選択

オンライン処理として実際の入力画像から人検出を 行い,MeanShift クラスタリングによりウインドウを 統合する.検出されたウインドウ内の領域が検出器に 入力されたときの各弱識別器の応答値のT次元の特徴 ベクトルとシルエット画像のスコアとして記録した特 徴ベクトルを比較することで類似シルエット画像の選 択を行う.その方法として,作成したハッシュテーブル を用いて近似最近傍探索を行う.人検出により検出さ れた領域から得られた弱識別器の応答に基づく特徴ベ クトルを $\mathbf{x} = (h_1(x), h_2(x), \dots, h_T(x))$ とする.この特



図2 人領域のセグメンテーション結果例

徴ベクトルに対しても式(1),(2)を用いてハッシュの インデックスを求め,同じハッシュのインデックスを持 つ特徴ベクトルをハッシュテーブルから探索すること で類似する特徴ベクトルを持つシルエット画像を選択 する.

2.5 Chamfer Matching によるセグメンテーション 人検出により検出された領域と,弱識別器の応 答値から選択された類似シルエット画像を Chamfer Matching[9] によりマッチングすることで人領域のセ グメンテーションを行う.入力画像として人検出により 検出された領域,テンプレート画像としてシルエット 画像を用いて相違度に基づいてマッチングを行う.こ のとき,人検出により検出された領域は必ずしもきれ いに人領域を検出しているとは限らないため, Chamfer Matching を行う領域としてマージンを持たせて少 し大きめに切り出した領域を使用する.また, Chamfer Matching はスケール変化に敏感であるため,シルエッ ト画像のスケールを変化させながらマッチングを行う. 最終的に, 最も Chamfer Matching の相違度が小さくな る位置とスケールとシルエット画像を決定し,シルエッ ト画像が重なっている部分を切り出すことで人領域の セグメンテーションを行う.図2にChamfer Matching を用いた人領域のセグメンテーション結果例を示す.セ グメンテーション結果から,画像中の人の高さh<sub>i</sub>と位 置 $v_i$ を精度よく抽出することができる.

3 カメラの自己キャリブレーション

人領域のセグメンテーション結果から得られた画像 中の人の高さを用いてカメラの自己キャリブレーショ ンを行う.まず,文献[6]を参考に,透視投影モデルに おけるカメラ位置と人の高さと人の位置の関係を定式 化する.本章では,画像座標と世界座標とカメラパラ



図3 カメラと人の高さの関係

メータの関係と,その関係からカメラパラメータの導 出方法について述べる.

3.1 カメラ位置と人の高さの関係

図 3 に,カメラ位置と人の高さの関係を示す.画像 の左下の座標を (0,0) とし,画像の縦と横を画像の縦 幅のサイズで正規化した画像の座標系を (u,v) で与え る.また,世界座標系を (x,y,z) とする.ただし,yを 高さ,zを奥行きとする.次に,カメラのチルト角を  $\theta$ ,焦点距離を f,カメラ中心  $(u_c,v_c)$ ,カメラの高さ を  $y_c$  とする.世界座標系は,カメラ位置を基準として,  $z_c = 0, x_c = 0$  とし,接地平面を y = 0 と定義する.ま た,カメラ中心  $(u_c, v_c)$  は画像中心とし,焦点距離 f は 1.4 とする.カメラにロールは発生せず,画像座標系の 地面の消失ラインとして水平線を  $v_0$  と定義する.この とき,カメラのチルト角(ラジアン)は次式で与えら れる.

$$\theta = 2\arctan\frac{v_c - v_0}{2f} \tag{3}$$

г٦

カメラモデルとして, 歪み無しの単位アスペクト比であ る透視投影モデル(Perspective projection model)を 使用すると,世界座標系から画像座標系への変換は以 下の式で与えられる.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{z} \begin{bmatrix} f & 0 & u_c \\ 0 & f & v_c \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta & y_c \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta & 0 \end{bmatrix} \begin{vmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{vmatrix}$$
(4)

### 3.2 カメラパラメータの導出

世界座標系と画像座標系とカメラパラメータの関係 から,カメラパラメータの導出方法について説明する. 式(4)を物体の高さ y について解くと次式となる.

$$y = \frac{z(f\sin\theta - (v_c - v)\cos\theta) - fy_c}{(v_c - v)\sin\theta + f\cos\theta}$$
(5)

ここで,画像中の人(直立と仮定)領域の上底と下底 の位置をそれぞれ  $v_t \ge v_b \ge 0$ て与える(図3).下底 位置  $v_b$ で地面と接する.つまり  $v_b$ のとき y = 0なの で,物体の奥行き z は次式のように求められる.

$$z = \frac{fy_c}{f\sin\theta - (v_c - v_b)\cos\theta} \tag{6}$$

式(5)と式(6)から,物体の高さyは次式のようになる.

$$y = \frac{fy_c(f\sin\theta - (v_c - v_t)\cos\theta)/(f\sin\theta - (v_c - v_b)\cos\theta) - fy_c}{(v_c - v_t)\sin\theta + f\cos\theta}$$

ここで,カメラのチルト角が小さい(推定された水平線の位置が画像内に存在する)場合, $\cos \theta \approx 1$ , $\sin \theta \approx \theta$ ,  $\theta \approx \frac{v_c - v_0}{f}$ と近似できる.従って,式(7)は以下のよう に表現できる.

$$y \approx y_c \frac{v_t - v_b}{v_0 - v_b} / \left( 1 + (v_c - v_0)(v_c - v_t) / f^2 \right)$$
(8)

分母の  $(v_c - v_0)(v_c - v_t)/f^2$  は , チルト角が小さいと き  $v_c - v_0 \approx 0$  となるため ,  $(v_c - v_0)(v_c - v_t)/f^2 \approx 0$ と近似できる . 従って , 式 (8) は以下のようになる .

$$y \approx y_c \frac{v_t - v_b}{v_0 - v_b} \tag{9}$$

ここで,画像中に存在するi番目の人領域を考えたとき, $v_t - v_b$ は画像中のi番目の人領域の高さ $h_i$ とする. また,人領域の基準座標を矩形領域の左下に設定したとき, $v_b = v_i$ となる.従って,求めたい式は以下のようになる.

$$y_i \approx y_c \frac{h_i}{v_0 - v_i} \tag{10}$$

式 (10) を変形し, n 人のサンプルとの関係を行列で表 現すると次式のようになる.

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ y_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_i & -h_i \\ \vdots & \vdots \\ y_n & -h_n \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y_i v_i \\ \vdots \\ y_n v_n \end{bmatrix}$$
(11)

式 (11) からカメラの高さ  $y_c$  と水平線の位置  $v_0$  を求める.

3.3 RANSAC によるカメラパラメータ推定

式 (11) において, 既知のパラメータは, 2.5 で述べた ように,人領域のセグメンテーション結果より画像中 から抽出した人の高さ $h_i$ と人領域の位置 $v_i$ である.世 界座標におけるカメラの高さ $y_c$ と画像座標上の水平線 の位置 $v_0$ を求めるためには,世界座標系での人の高さ  $y_i$ が必要である.しかし,与えられている映像からそ れぞれの世界座標系の人の高さの真値を知ることは不 可能である.そこで,提案手法では人の身長として文 部科学省の平成20年度体力・運動能力調査の調査結果 [10]の男性20-24歳の身長測定の結果を用いて,平均値 171.9[cm],標準偏差5.9の正規乱数により人の高さを 与え RANSAC(RANdam SAmple Consensus)[11]を用 いてカメラの高さとチルト角の推定を行う.RANSAC の流れは以下の通りである.

Step1 ランダムに2点のサンプルを選択

Step2 最小二乗法によりカメラの高さと水平線位置を 推定

Step3 推定値から全サンプルとの誤差を算出 Step4 誤差の中間値を選択

Step5 Step1 ~ Step4 を繰り返し,誤差の中間値が 最小となるパラメータを求め,最終的なカメラの 高さと水平線位置とする

3.4 人の3次元位置推定

推定したカメラパラメータと画像中における物体の 位置 (u,v)から,世界座標における物体の3次元位置 (x,y,z)を推定する.物体の奥行きzは,世界座標系と 画像座標系の変換式から,y = 0のとき求めたカメラパ ラメータのカメラの高さと,画像座標における位置関 係から次式となる.

$$z = \frac{fy_c}{f\sin\theta - (v_c - v_b)\cos\theta}$$
(12)

次に,式(12)から求めた奥行き *z* と画像中の位置から, *x* と *y* を求めることが出来る.世界座標における高さ *y* は,奥行き *z* と,カメラの高さ *y*<sub>c</sub> と画像中での高さの 関係から次式となる.

$$y = \frac{z(f\sin\theta - (v_c - v)\cos\theta) - fy_c}{(v_c - v)\sin\theta + f\cos\theta}$$
(13)

世界座標における x の推定には,世界座標系から画 像座標系に変換する式 (4) を画像座標 u について解く と次式となる.

$$u = \frac{fx + u_c(y\sin\theta + z\cos\theta)}{z} \tag{14}$$

式(14)から, x は次式のようになる.

$$x = \frac{z(u + u_c \cos \theta) - u_c y \sin \theta}{f} \tag{15}$$

式 (15) から求めた世界座標における x 座標と,式(13) と式(12) から求まる y, z 座標の値を,自己カメラキャ リプレーションで求めたカメラパラメータを用いて算 出することで,対象物体の 3 次元位置を推定すること ができる.

## 4 シミュレーションによる評価実験

提案手法は,推定するシーンのカメラチルト角や推 定に用いるサンプルの分布(世界座標における人の身 長)の影響を受ける.そこで,シミュレーション実験 により評価する.実験には図4に示すように人体シル エットを OpneGL で描画したシミュレーションモデル を用いる.このモデルは,カメラの位置や高さ等のカ メラパラメータと,人の身長や位置等の人モデルのパ ラメータを変更することで様々な撮影環境が表現可能 である.



図4 シミュレーションモデルの例





4.1 チルト角による推定精度の比較実験

提案手法は,推定するシーンにおけるカメラチルト 角に精度が影響することが考えられる、そこで、カメ ラのチルト角に対するパラメータの推定精度を調査す る.シミュレーションモデルを用いてカメラチルト角θ を 0 度 ~ 40 度 まで 5 度 刻みで変化させた時のカメラ パラメータ推定精度を比較する.ここでカメラの高さ  $y_c$ は3m,人の位置(x,z)は乱数によって決定し,人の 身長は文献 [10] の成人男性の結果に従った正規乱数に より与えてサンプルを生成する.各角度でカメラパラ メータ推定に用いた人モデルのサンプル数は600 であ る.図5にシミュレーションモデルにより生成したサ ンプルの例を示す.実験の結果を図6に示す.図6よ **り**, チルト角が 40 度のとき推定誤差は約 11.0[degree] となった.推定するシーンのチルト角が大きくなるに つれ推定誤差が増加することが分かる.これは,カメ ラパラメータの導出の過程でカメラのチルト角が小さ いと仮定しているため,チルト角が大きくなるほど推 定する際に誤差が生じると考えられる.

#### 4.2 サンプルの分布による推定精度の比較実験

提案手法で用いる人の身長の分布とサンプルの分布 の違いによるカメラパラメータの推定精度を比較する. 実験では提案手法の人モデルと同様に,人の身長とし



図6 チルト角と推定誤差の比較結果



図7 生成したサンプルの例2

ての平均値 171.9[cm],標準偏差 5.9 の正規乱数によっ て高さを与えて生成したサンプルと文献 [10] 中の男子 6歳の身長測定の結果である平均身長116.7[cm],標準 偏差 4.8 の正規乱数によって高さを与えて生成した子供 のサンプルを用いる.サンプルを生成したシミュレー ションモデルの環境はカメラの高さ yc を 3m, 人の位置 (x, z) を乱数によって決定する.また,カメラのチルト 角は推定結果に含まれる誤差を抑えるため0度でサン プルを生成した.図7にシミュレーションモデルにより 生成したサンプルの例を示す.実験ではカメラパラメー タ推定に用いる人のサンプル数を1000とし,成人男性 の人体モデルで生成したサンプルと子供のモデルによ り生成したサンプルの割合を変化させ精度を比較する. サンプルの割合は成人男性の人モデルが0%~100%ま で10%毎変化させる.実験結果を図8に示す.成人男 性が 60%以上の場合,高精度にカメラの高さを推定で きることが分かる.提案手法では,RANSACを用いて 全サンプルからカメラパラメーラ推定に最適なサンプ ルの組み合わせを選択して推定するため,成人男性の 人モデルに当てはまらない身長のサンプル (子供のサ ンプル等)を含んでいるシーンに対しても高精度に推 定できると考えられる.



図8 サンプルの分布と推定誤差の比較結果

表1 カメラパラメータ推定結果

カメラパラメータ	真値	セグメンテーション		
カメンハンメーシ		あり	なし	
カメラの高さ y <sub>c</sub> [cm]	184.6	184.3	214.1	
カメラ角度 $ heta[ ext{degree}]$	10.0	13.3	18.1	

## 5 実画像による評価実験

提案手法の有効性を確認するために,実画像におけるカメラパラメータの推定と3次元位置の推定の評価 実験をする.

### 5.1 カメラパラメータの推定

撮影した映像から人領域のセグメンテーションを行 い,その結果から撮影したカメラの自己キャリブレー ションを行う.求めるパラメータはカメラの高さ y<sub>c</sub> と 水平線位置 v<sub>0</sub> で,水平線位置 v<sub>0</sub> と式 (3) からカメラ の角度 θ である.また,推定したパラメータを用いて 現実世界での3次元位置の推定を行う.推定に用いる オリジナルデータセットは 640×360 ピクセル, セグメ ンテーション結果のサンプル数は 600 である.図 9(a), (b) にカメラパラメータの推定に用いた 600 サンプルの 人検出結果の分布を示す.表1にパラメータ推定結果 を示す.表1より,セグメンテーションありの場合に カメラ高さが真値との誤差が約0.3 [cm],カメラの角度 が真値との誤差は約 3.3 [degree] の精度で推定できた. 図 10,図 11 に自己キャリブレーションにより推定した 水平線位置 v<sub>0</sub>, カメラの高さ y<sub>c</sub> と式 (10) から推定し た検出した人の身長, チルト角 θ と式 (12) から求めた 奥行き zの値を示す.提案するカメラの自己キャリブ レーション法は,カメラの内部パラメータを推定する ことはできないが,推定したカメラの高さ yc と水平線 位置 v<sub>0</sub>を用いることで人検出の誤検出抑制やトラッキ ング精度の向上が期待できる.



(a)検出結果の分布(セグメンテーションあり)



(b)検出結果の分布(セグメンテーションなし)

図9 人検出結果の分布



図 10 推定結果 1(オリジナルデータセット)  $y_c = 184.3$ [cm],  $v_0 = 0.825, \theta = 13.3$ [deg]

#### 5.2 人の3次元位置の推定

推定したカメラパラメータを用いて,検出した人の 世界座標における3次元位置を推定をする.図12に示 す15点のランドマーク点の画像座標を用いて世界座標 の真値と推定結果比較することで3次元位置の精度評 価を行う.図13に3次元位置の推定結果を示す.また, 表2に3次元位置推定誤差の x 軸, z 軸の平均と分散 を示す.セグメンテーションした結果により推定した カメラパラメータを用いて3次元位置を推定すること で,推定誤差を小さくすることができた.また,図13 の結果から提案手法で3次元位置をおおまかに推定で きていることから,数mの領域に人がどのように存在 しているかなどの位置関係を推定できることが分かる.

図 14, 図 15 に提案手法を用いた 3 次元位置の推定 結果を示す.未校正のカメラから自己キャリブレーショ



図 11 推定結果 2(CAVIAR dataset 2[12]) y<sub>c</sub> = 350.05[cm], v<sub>0</sub> = 1.12, θ = 29.2[deg]



図 12 推定する 3 次元位置

ンを行い,その結果を用いることで検出した人の3次 元の位置関係や身長を推定することが可能となる.

#### 6 おわりに

本稿では,人検出とセグメンテーション結果に基づ く,カメラの自己キャリブレーション手法を提案した. セグメンテーションの結果から画像中の人の高さと,位 置を自動的に抽出することで自己キャリブレーション を行い,カメラパラメータの推定を行った.これによ り,推定シーンにおける物体の3次元位置推定が可能 となり,評価実験によりその有効性を確認した.

今後は推定した物体の3次元位置情報を用いた高精 度な人の追跡を行う予定である.

# 参考文献

 N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection", IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, vol.1, pp.886–893, 2005.



図 13 3 次元位置の推定誤差

表 2	3 次元位置の誤差の平均と分散 [cm]	
-----	----------------------	--

	セグメンテーションあり		セグメンテーションなし			
	平均	分散	平均	分散		
x 座標	5.6	14.1	9.1	76.1		
z 座標	20.6	43.9	33.8	573.0		

- [2] Bo Wu and Ram Nevatia, "Detection and Tracking of Multiple, Partially Occluded Humans by Bayesian Combination of Edgelet based Part Detectors", International Journal of Computer Vision, 75(2), pp.247–226, 2007.
- [3] 小川雄三,藤吉弘亘,"実空間に対応した Master-Slaving による追尾カメラシステム",第9回画像
  センシングシンポジウム, June, 2003.
- [4] R. Y. Tsai: "A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Cameras and Lenses", IEEE journal of Robotics and Automation, Vol. RA-3, No.4, pp. 323–344, 1999.
- [5] F. Lv, T. Zhao, R,Nevatia "Camera calibration from video of a walking human", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.28, no.9, pp.1513-1518, September 2006.
- [6] D. Hoiem, A. A. Efros and M. Hebert, "Putting Objects in Perspective", International Journal of Computer Vision, vol. 80, No. 1, 2008.
- [7] 村井陽介,藤吉弘亘,"弱識別器の応答に基づく類 似シルエット画像選択による Chamfer Matching を用いた人領域のセグメンテーション",第12回画 像の認識・理解シンポジウム,2009.
- [8] R. E. Schapire and Y. Singer, "Improved Boosting Algorithms Using Confidence-rated Predictions", Machine Learning, No. 37, pp. 297–336, 1999.
- [9] D.M. Gavrila, "Multi-feature Hierarchical Template Matching Using Distance Transforms",



図 14 3次元位置の推定結果 1(オリジナルシーケンス)  $y_c = 180.5 [cm], v_0 = 0.5, \theta = 0.0 [deg]$ 



図 15 3次元位置の推定結果 2(CAVIAR dataset 2)  $y_c = 350.05$ [cm],  $v_0 = 1.12, \theta = 29.2$ [deg]

IEEE International Conference on Pattern Recognition, pp. 439–444, 1998.

- [10] 平成 20 年度体力・運動能力調査
  調査結果統計表:文部科学省, "
  http://www.mext.go.jp/b\_menu/houdou/21/10/
  attach/1285568.htm".
- [11] M. Fischer, and R. Bolles, "Randam sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography", communications of the ACM 24, pp. 381-385, 1981.
- [12] http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CAVIARDATA1/