

多視点カメラによる屋外での歩行者のモーションキャプチャ

和田 悠 希^{†2} 鈴木 慎 也^{†2} 山本 正 信^{†1}

本論文では、屋外に設置した多視点カメラの映像から、身体にマーカーを貼り付けることなく歩行動作を測定する方法を提案する。カメラごとに GPS 信号からの時間情報を供給し、カメラ間を有線で接続することなく同期させている。これにより交通を妨げることなく歩行動作を撮影できる。さて、屋外では人々は多様な衣服を纏っているため、身体やその部位を自動的に見つけることは難しい。本論文では手作業で部位の位置を指定することにする。しかし、手足の位置は指定できても、衣服によっては胴体の姿勢を視認することすら困難な場合がある。そこで、手足などの限られた情報から胴体の姿勢を逆運動学により推定する方法を提案する。フレームごとに姿勢推定を行えば、動作の測定が可能であるが、GUI での手作業が負担になる。これに対して、いくつかのキーフレームで姿勢が与えられれば、キーフレーム間の姿勢は追跡により自動的に決定する手法がある。本論文では、この手法を多視点動画像用に拡張して使用する。

A 3D Motion Capture for Outdoor Pedestrian

YUKI WADA,^{†2} SINYA SUZUKI^{†2}
and MASANOBU YAMAMOTO^{†1}

This paper proposes a marker-less motion capture system to estimate 3D motion of pedestrians walking outdoor from multiple camera views. The cameras synchronized by GPS can observe pedestrians without disturbing the traffic. Outdoor pedestrians wear various clothes. It is difficult to see their pose from their appearances as long as they do not wear greatly tight clothes. This paper chooses a way to specify the position of the body part manually. However, even if arms and legs' position can be specified, it might be difficult even to see pose of the trunk visually according to some clothes. This paper proposes an inverse kinematic technique to estimate pose of the trunk from positions of the arms and legs. Using this technique, the proposed motion capture system estimates body poses in several key-frames, and then it determines the poses between key-frames by a tracking approach based on the temporal-spatial gradient.

1. はじめに

本論文では屋外で使用するモーションキャプチャを提案する。多くのモーションキャプチャは屋内のスタジオでの使用を前提としている。屋外では不特定多数の人物を対象とするため、身体にマーカーやセンサを取り付ける方式は不向きである。ビデオカメラによる画像方式が向いている。ビデオカメラ 1 台の映像からでも動作の測定が可能であるが、動作を 3 次元的に測定するためには複数のカメラを配置する。その際カメラ間の同期をとる必要がある。同期信号の供給は、通常有線により行われるが、屋外ではケーブル配線が交通の妨げになる。本研究では、カメラごとに GPS 信号を受信し、その時刻情報を使ってカメラを同期させる。

同期がとれ互いに較正された多視点カメラからの画像に対し、身体が多関節モデルを当てはめることにより身体の姿勢を推定する。そのためには画像から身体を抽出しその部位を特定することが必要である。多視点画像から身体の姿勢を推定する課題は、近年活発に研究が繰り返されている。しかしながら、いまだその対象は限定的である。屋外では人々は多様な衣服を纏い、多くの場合手荷物を持ち、背景も複雑であり時間と共に変動する。このような状況下でこれまでの手法が容易に適用できるとは考えにくい。本論文では手作業で部位の位置を指定できる GUI を使用する。しかし、手足の位置は指定できても、衣服によっては胴体の姿勢を視認することすら困難な場合がある。そこで、本論文では手足などの限られた情報から胴体の姿勢を逆運動学により推定する方法を提案する。

フレームごとに姿勢推定を行えば、モーションキャプチャが可能であるが、GUI での手作業が負担になる。文献¹⁵⁾によれば、いくつかのキーフレームで姿勢が与えられればキーフレーム間の姿勢は時空間勾配法に基づく追跡により自動的に決定することができる。本論文では、文献¹⁵⁾の手法を多視点画像用に拡張して使用する。

次節は関連研究について述べ、3 節では屋外カメラシステム、4 節では多関節身体モデル、5 節では手足から肩関節と股関節の位置決定について、6 節では胴体部の姿勢推定法について、7 節ではスティックモデルから多間接モデルの構成法、8 節では多視点動画像からの動作追跡法、9 節では姿勢推定と動作の測定実験について記述する。

†1 新潟大学工学部情報工学科

Department of information engineering, Niigata University

†2 新潟大学大学院自然科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Niigata University

2. 関連研究

GPS 信号を利用したカメラの同期方法は、既に幾つかの研究で使用されている。北原ら⁸⁾は、サッカースタジアム内に配置された多視点カメラの同期に使用した。しかし、カメラへの同期信号は有線で供給されている。赤羽ら²⁾のシステムは、カメラごとに GPS 利用ビデオ同期発生器からの同期信号 (BBS) とタイムコード (TC) が供給されている。したがって、カメラ間の有線接続は不要である。このシステムは車両の走行計測に使用された。本研究はこの GPS 利用ビデオ同期発生器の後継機を使用している。

身体モデルの多視点画像への照合による動作測定は、Gavrila と Davis⁶⁾ が身体の超楕円体多関節モデルを画像に照合させた頃から盛んになった。これまでの手法^{5)-7),10),11),14)}では、胴体を一つの剛体部位モデルで表すことが多かった。Cheung, Baker と Kanade^{3),4)}は、胴体を肩関節、股関節及び首関節をつなぐ星型のスケルトンモデルで表現しているが、立体表現では頭部も含めて胴体を一つの部位とみなしている。

胴体は背骨に沿って形作られた立体である。屈曲や捻り捩れなど動きの自由度は大きく、とても一つの部位モデルでその動きを表すことはできない。なぜ、これまで一つの部位としてしか表してこなかったのだろうか。それは、胴体は腕により部分的に隠されることが多く、多視点画像といえども胴体の形状を正確に切り出すことは難しかったからである。また、通常胴体は衣服により覆われているので、余程タイトな衣服で無い限り、胴体の形状を知ることは難しい。

もし、胴体の形状が正しく得られたならば、胴体を腰部と胸部のような二つの部位、あるいは背骨を軸とした蛇状部位で表すことができる。実際、Sundaresan と Chellappa¹²⁾ は、多視点画像から得られた身体のボクセルデータに対し、ラプリアン固有空間法を適用し胴体の体軸 (背骨) を求めている。ただし、腕は胴体に接触しないことが前提で、接触したとしても手先を腰に当てることは許されるが、肘は胴体と離れループを構成することが条件とされている。

一方、Aguiar ら¹⁾ は、レーザーレンジファインダにより、あらかじめ測定された身体のメッシュモデルを多視点画像に照合した。メッシュモデルのパッチの頂点を移動させることにより、衣服の微妙な動きも測定することが可能である。しかしながら、ここでも、胴体のシルエットがカメラから明瞭に観測できるように、腕が胴体に接触しないような動作を対象としている。

これまでの多視点動作解析手法は、胴体を一つの部位と見なしている^{3)-7),10),11),14)}、衣

服がタイトで腕が胴体に重ならない^{1),12)}、あらかじめ身体の形状モデルを求めておく¹⁾、などかなり限定的である。そのため、屋外の多様な歩行者にこれらの手法を適用することはできない。

しかし、衣服が多彩であっても、腕部や脚部 (特に下肢) の位置は明瞭に知ることができる。本研究では、多彩な衣装や背景であっても手動で確実に腕や脚の位置を知り、そこから胴体の姿勢を推定することにする。

姿勢の推定を幾つかのキーフレームで行い、キーフレーム間は時空間勾配法により追跡を行う。時空間勾配法は Chamfer matching⁶⁾ と同様に直近のエッジに照合するが照度変化の影響を受けやすい。照度変動などによるドリフトの影響を解消する追跡法¹⁵⁾ を多視点画像用に拡張して適用する。

3. 屋外多視点カメラシステム

屋外で使用する多視点カメラシステムの構成を図 1 左に示す。GPS 利用ビデオ同期発生器 (東通産業, GVS-0710) は、GPS 信号からビデオ用の同期信号 (BBS) と SMPTE タイムコード (TC) を発生しビデオカメラ (CANON, XH-G1) に供給する。道路際の一方向に 2 台のビデオカメラを配置し、1 台の同期発生器と有線により同期させる。道路際の他方向にも同じ構成で 2 台のカメラを配置する。4 台のカメラは同期され、歩行者や車両を妨げることなく撮影が可能である。このシステムは可搬性に富み、道路際に若干のスペースがあればどこにでも設置可能である。

撮影前にカメラの較正を行っておく。発砲スチロールで作られた較正用の物体を図 1 中に示す。較正は Tsai の手法¹³⁾ を使用した。ビデオ映像は DV テープに記録される。ビデオ編集機 (トムソン・カノーブス, REXCEED model 3100) で、DV テープから TC を読み取りながらハードディスクに画像を移す。同時刻に撮影された 4 枚 1 組の多視点画像の時系列が得られる。

4. 身体モデル

身体を頭、首、胸、腰、上腕、下腕、手、上脚、下脚、足などの部位に分けるとすれば、各部位はほぼ直線を対称軸とする回転体とみなすことが可能である。この直線を体軸とよぶ。

このとき身体は、各部位を剛体で表し部位間を関節で連結した多関節構造でモデル化することができる。この多関節モデルを図 1 右に示す。手首、肘、肩、足首、膝、股関節など、関節の位置が印で示されている。胴体は背骨で繋がっているが、ここでは胴体を胸部と腰



図 1 屋外多視点カメラの構成 (左), カメラ較正用物体 (中), 身体多関節モデル (右)
Fig.1 Set up of synchronized cameras in outdoor (left), calibration box (center), and articulated body model (right).

部に分け、一つの関節で連結することにする。手と足は直方体、その他の部位は円錐台で表している。いずれも直線を軸とした軸対称立体である。このモデル軸を体軸と一致させることにより姿勢を得る。

身体各部位の寸法は、身体の実測データベース⁹⁾を参考に、青年男性、青年女性、老年男性、老年女性の4種類用意した。身体の寸法は、下腕は手首から肘まで、上腕は肘から肩まで、下脚は足首から膝まで、上脚は膝から股関節までの各長さである。両肩の midpoint を首の付け根とし、この点を通り両肩を結ぶ線分に垂直な面を胸部の正中面と呼ぶ。両脚の付け根の midpoint を腰の下端とし、この点を通り両股関節を結ぶ線分に垂直な面を腰部の正中面と呼ぶ。身体が正立しているとき、胸と腰の正中面は一致する。首の付け根と腰の下端を結ぶ線分をほぼ臍の位置で内分したとき、内分点から首の付け根までの長さを胸部の高さ、腰の下端までの長さを腰部の高さとする。

5. 肩関節と股関節位置の決定

本論文の身体モデルは、各部位が体軸周りの軸対称立体で表されている。身体部位のうち腕や脚は胴体に比べて回転対称立体に近く、衣服を纏っても輪郭が分かりやすい。そこで、腕や脚の体軸を多視点画像から求めることにする。

体軸は肘や肩などの関節位置から求めることが多いが、体外から関節位置を正確に割り出すことは難しい。そこで、部位の投影像が軸対称図形に近いので、図形内の2点をポイントングすることにより、中心軸を求める。視点とこの中心軸を含む平面上に体軸は載って

いるので、複数の視点から中心軸が観測されたなら平面の交線から体軸の向きが得られる。肘の位置は上腕の中心軸を通る平面及び下腕の中心軸を通る平面全ての交点として得られる。肘の位置、上腕体軸の向き及び与えられた上腕の長さから肩関節の位置を知ることができる。

肘が伸びている場合は、手首の位置を求めておく。手首など先端部の位置は肘や肩の位置よりは見つけやすいと考えられる。上腕、下腕共通の体軸の向きを求め、手首の位置と上腕・下腕の体軸の向き及び下腕の長さ、上腕の長さから肘の位置、肩関節の位置をそれぞれ知ることができる。

脚部も同様に膝と股関節の位置を求めることができる。ただし、手提げ荷物に隠されている場合や衣服によっては上脚の体軸が得難い場合もある。後処理の結果によっては上脚の体軸を与え直すこともある。

手は手首と手先の位置を指定し体軸とする。足も足首と足先の位置を指定し体軸とする。頭部は頭部中心と鼻先の位置を指定し顔の向きとする。首は部位が小さいので胸部と一体化することにする。

腰部と胸部の連結点は胴体の姿勢推定の要である。次節で連結点を求めるが、解が複数存在することもある。解を一意に決めるための目安として臍付近に仮の連結点を与えておく。

6. 胸部・腰部の姿勢決定

胸部と腰部は通常衣服に覆われその衣服も身体に密着しているとは限らない。したがって、外見から体軸を求めることは難しい。ここでは、両肩と股関節位置から逆運動学手法により胸部・腰部の体軸(すなわち姿勢)を求めることにする。

両肩の位置が得られたら、胸部姿勢の自由度は両肩を結ぶ直線周りの1自由度である。同様に、両脚の股関節の位置が得られたなら、腰部の姿勢の自由度も1自由度である。胸部と腰部は臍付近で連結しているため、両部位の姿勢は一意に定まる。胸部と腰部の連結点は、胸部の正中面と腰部の正中面に載っている。また、この連結点は両肩の midpoint 及び両股関節の midpoint からそれぞれ部位の高さほど離れた位置でもある。この位置は一つの平面上に載っている。この平面を連結面とよぶ。

2つの正中面と連結面が独立であれば、1点で交わり連結点は一意に決定される。このときの姿勢を捻転姿勢とよび、3面の関係を図2左、そのときの姿勢例を図3左に示す。3つの面が直線で交わる場合を横斜姿勢、二つの正中面が一致する場合を直立姿勢とよぶ。横斜姿勢、直立姿勢時の3面の関係をそれぞれ図2中、右に、姿勢例を図3中、右に示す。横

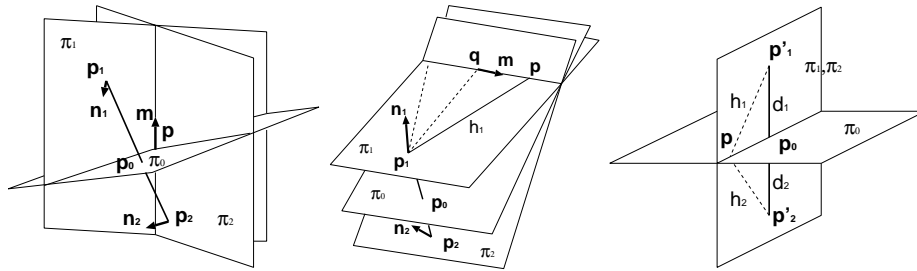


図2 3面が互いに独立(左), 3面が直線で交わる(中), 2つの正中面が一致(右)。

Fig. 2 Three independent planes (Left), three planes intersect a straight line (Center), and two median planes coincide with each other (Right).



図3 捻転(左), 横斜(中), 直立(右)姿勢

Fig. 3 Torsion, side bending and standing postures

斜姿勢と直立姿勢は解の候補が2つ存在する。仮の連結点との距離が近い方を解とする。

7. 多関節モデルの構成

身体の関節位置から, 身体多関節モデルを構成する。身体多関節モデルは, 身体部位を剛体で表し, 腰部を最上位の親とする階層構造で表されている。部位ごとに座標系を持ち, 部位ごとの位置・姿勢は親部位座標系に対する子部位座標系の位置・姿勢で表される。これに対し, 関節の位置はシーンに固定された座標系で表されているので, まず部位の位置・姿勢をシーン座標系で表し, ついで各部位の親に対する位置・姿勢に変換する。

シーン座標系に対する腰部の位置・姿勢は, 両股関節と連結点から決定される。胸部の位置・姿勢も同様に両肩と連結点から得られる。胸部の親は腰部であるので, 胸部の位置・姿勢は腰部に対する位置・姿勢に変換する。さらに, 上脚, 下脚, 上腕, 下腕の順に階層構造

の末端に向けて位置・姿勢を決定する。このとき, 腕や脚の部位には, 両端点の位置情報しか与えられていないので, 体軸回りの回転角は一意に定まらない。ここでは, 回転角を0とした。

8. 多視点画像からの追跡

多関節モデルの運動は親部位に対する子部位の姿勢の変動として表す。モデルが身体に一致しているとき, 次のフレームとの画像間の変動を使って身体の動作をモデルの運動として推定することができる。実際, 身体上の3次元移動ベクトルはヤコビ行列を使ってモデルの運動パラメータの線形結合で表すことができる。また, 3次元移動ベクトルの画像上への射影は動画像の時空間勾配に基づく線形方程式に束縛される。したがって, 運動パラメータは画像の時空間勾配から線形推定が可能である。

複数の視点に対しそれぞれ, 運動パラメータを求める線形推定式が成り立つ。このとき, 運動パラメータはカメラ座標系ではなく, モデルの身体座標系を基準に表されている。したがって, 各視点の線形推定式を連立させて運動パラメータを計算することができる¹⁴⁾。

得られた運動パラメータをフレーム順に先頭フレームの姿勢に累積して行けば追跡が可能である。しかし, 屋外光の変動などにより運動パラメータの推定に誤差を含み累積姿勢にドリフトが生じる。そこで, 姿勢の推定を先頭フレームだけではなく, 最終フレームや幾つかの中間フレームでも行っておく。これらのフレームをキーフレームとよぶ。キーフレームで挟まれた区間について, 開始フレームでの姿勢に累積して得た終了フレームでの姿勢が, 予め推定しておいた最終フレームでの姿勢と一致するように運動パラメータを修正する¹⁵⁾。この修正計算を何度か繰り返せば正確な姿勢に近づいて行く。

9. 実験と評価

大学構内の道路際にカメラを設置し, 13名の通行人の歩行動作を撮影した。4台のカメラは固定されているので, 歩行者が撮影空間内を通過する時間は, 歩行速度や歩幅にもよるが, 34~66フレームであり, この間の歩数は3~4歩であった。

13名全ての歩行者を追跡したが, ここでは紙面の節約上, 体軸を認識することが難しいと考えられる3例を示す。この3例は, 図4(a)のポケットに手を入れた男性(Ped1), 同(b)の荷物を携帯した女性(Ped2), 図5のルーズな衣服を着た男性(Ped3)である。

図4及び5の(a), (b)における左の身体像に, マウスポインティングにより指定した腕, 脚, 手, 足などの体軸や頭部中心, 鼻及び仮の連結点の位置が重ねて示されている。これよ

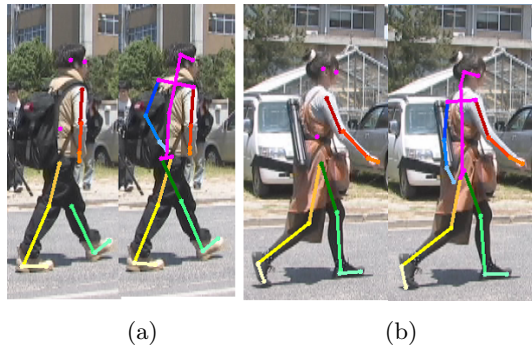


図 4 指定した体軸と推定した姿勢. (a) ポケットに手を入れた歩行者, (b) 荷物を携帯した歩行者
Fig.4 Pose estimation from body axes. Pedestrians are (a) putting hands in the pocket, and (b) carrying luggages, respectively.

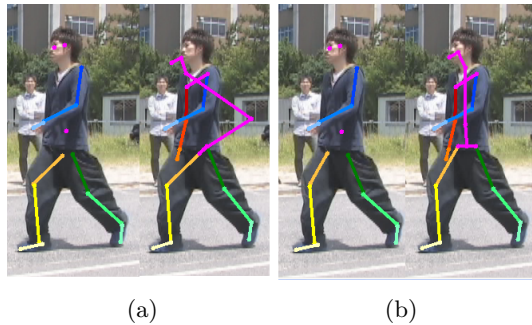


図 5 ルーズな服を着た歩行者. 体軸からの姿勢推定 (a) 失敗例, (b) 成功例
Fig.5 Pedestrian wearing loose clothes. Pose estimation (right) from body axes (left) falls into (a) failure and (b) success.

り肩及び股関節位置を求め, ついで胸部・腰部の姿勢を推定する.

図 4(a) の歩行者は両手をポケットに入れているため手首の位置が不明である. 幸いなことに肘が曲がっているため体軸から肘の位置を見つけることができ, 肩関節位置も知ることができた. 図 4(b) 右の身体像に推定した姿勢を重ねる. なお, この例のように腕が胴体に密着している場合には, 腕部位を自動認識するには困難と考えられる.

図 5 の歩行者はルーズな衣服を着ている. そのため, 腕や脚の領域が通常の倍程度に広が

表 1 キーフレームでの分類姿勢
Table 1 Class of pose estimated at key-frames

Pedestrian	Pose at keyframe													
	1	9	17	27	33	43	51	60						
Ped1	S	T	S	B	T	B	S	S						
Ped2	1	6	10	13	17	21	25	32	39	47	55	60	65	
	T	T	T	T	S	S	T	T	T	S	S	T	T	
Ped3	1	9	13	18	25	29	33	41	45	48				
	T	S	B	B	T	T	T	T	S	T				

り, 体軸の位置を特定することが困難であった. 図 5(a) の右の身体像には, 推定された連結点が体外に飛び出している. それでも, 手首, 足首の位置は特定できたので, それらの位置は固定し, 腕や脚の体軸を様々に変えて姿勢を推定し, それらの中でもっともらしい姿勢を採用した. 図 5(b) 左では (a) 左に比べ右上脚の体軸の向きを若干変えている. これにより図 5(b) の右身体像に重ねられたように正しい姿勢が得られている.

図 4(b) の歩行者は多くの荷物を携帯している. このような荷物を含んだ画像から身体部位を自動的に見つけ出すことは非常に困難と考えられる. 視認によれば, 腕部や下脚の体軸は明瞭に見つけることができた. しかし, ルーズな衣服を着ている場合と同様に, 上脚の体軸を指定することは難しい. 上脚の体軸を様々に変えて, 推定した姿勢の中でもっともらしい姿勢を採用した.

姿勢を決定するキーフレームは開始フレームと終了フレームの他, 歩幅が最大に広がった時点とした. また, 両足が交差する時点もキーフレームとした. それでも追跡中にモデルが身体と乖離する場合には新たにキーフレームを挿入した. 表 1 は 3 名の歩行者について, 挿入したキーフレーム番号と推定した姿勢の分類をその下に示す. ここで, T, B, S はそれぞれ捻転, 横斜, 直立姿勢を示す.

ポケットに手を入れた歩行者の追跡結果を図 6 左に示す. モデルをスティック表現で表し画像に重ねている. 4 台のカメラのうち 1 台のカメラの画像から身体付近を抜き出し, 先頭フレーム以降 5 フレームおきに最終フレームまで表示している. スティックの色が単一色のフレームはキーフレームであり, 部位ごとに色分けされたスティックはキーフレーム以外のフレームを示している. 図 6 中の画像は荷物を携帯した歩行者, 右の画像はルーズな服を着た歩行者の追跡結果である.



図 6 歩行者 Ped1(上), Ped2(中), Ped3(下) の追跡結果
Fig. 6 Tracking results of Ped1(top), Ped2(center) and Ped3(bottom)

10. まとめと今後の課題

本論文では、屋外に設置した多視点カメラの映像から歩行動作を測定する方法を提案した。屋外の歩行者の服装は様々である。余程タイトな服装でない限り、外見から身体の姿勢を知ることは難しい。本論文では、比較的その姿勢が得やすい腕や脚から、姿勢を得ることが難しい胴体部の姿勢を逆運動学手法により推定できることを示した。さらに、動画中の幾つかのキーフレームで姿勢を推定し、キーフレーム間を時空間勾配法に基づく手法で追跡することにより、効率的に動作を測定した。

今回、手足や四肢の体軸は手動で与えたが、体軸の与え方によっては姿勢の推定結果が大きく異なる。もっともらしい姿勢を得るために試行を繰り返したが、手動の負担が大きい。最適姿勢の自動探索が望ましい。さらに、一般化物体認識手法を援用すれば、今のところ限定的ではあろうが、本手法による動作測定の自動化が可能となろう。

参 考 文 献

- 1) E. de Aguiar, C.Stoll, C.Theobalt, N.Ahmed, H.-P.Seidel, S.Thrun, "Performance Capture from Sparse Multi-view Video", ACM Transactions on Graphics, Vol. 27, No. 3, Article 98, August 2008.
- 2) 赤羽弘和, 畠中聡志, "複数のビデオカメラによる車両走行軌跡の連続観察", 第 2 回 ITS シンポジウム, 2003.
- 3) G.Cheung, S.Baker and T.Kanade, "Shape-From-Silhouette Across Time Part I: Theory and Algorithms", International Journal of Computer Vision 62(3), pp.221-247, 2005.
- 4) G.Cheung, S.Baker and T.Kanade, "Shape-From-Silhouette Across Time Part II: Applications to Human Modeling and Markerless Motion Tracking", International Journal of Computer Vision 63(3), pp.225-245, 2005.
- 5) Quentin Delamarre and Oliver Faugeras, "3D articulated models and multi-view tracking with silhouettes", Proc. 7th International Conference on Computer Vision (ICCV99), Vol.2, pp.716-721, 1999
- 6) D.M.Gavrila and L.S.Davis, "3-D model-based tracking of humans in action: A multi-view approach", Proc. IEEE CVPR96, pp.73-80, 1996.
- 7) Abhinav Gupta, Anurag Mittal, Larry S. Davis, "Constraint Integration for Efficient Multiview Pose Estimation with Self-Occlusions", IEEE Trans. PAMI, Vol.30, No.3, pp.493-506, 2008.
- 8) 北原格, 大田友一, 斎藤英雄, 秋道慎志, 尾野徹, 金出武雄, "大規模空間における多視点映像の撮影と自由視点映像生成", 映像メディア学会誌, Vol.56, No.8, pp.120-125, 2002.
- 9) 河内まき子, 持丸正明, 岩澤 洋, 三谷誠二, "日本人人体寸法データベース 1997-98", 通産省工技院くらしと JIS センター, 2000.
- 10) Ivana Mikic, Mohan Trivedi, Edward Hunter and Pamela Cosman, "Articulated body posture estimation from multi-camera voxel data", CVPR01, Vol.1, pp.455-460, 2001.
- 11) R.Rosales, M.Siddiqui, J.Alon, S.Sclaroff, "Estimating 3D body pose using uncalibrated cameras", Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR01, Vol.1, pp.821-827, 2001.
- 12) A.Sundaresan, R.Chellappa, "Model-Driven Segmentation of Articulating Humans in Laplacian Eigenspace", IEEE Trans. PAMI, Vol.30, No.10, pp.1771-1785, 2008
- 13) 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, 1987.
- 14) M.Yamamoto, A.Sato, S.Kawada, T.Kondo and Y.Osaki, "Incremental tracking of human actions from multiple views", CVPR98, pp.2-7, 1998.
- 15) 山本正信, "ドリフト修正機能を有する動画像からの身体動作推定法", 信学論, Vol.J88-D-II, No.7, pp.1153-1165, 2005.