

卒業論文

画像処理による人物の動作解析

学籍番号 97828
平澤 雅人

東京商船大学
交通電子機械工学課程

平成 13 年 1 月 31 日（水）提出

指導教官
情報システム研究室 大島正毅教授

目次

第一章	序章	3
第二章	動画像	5
2.1	人間の動作	5
2.2	動画像処理	7
第三章	アルゴリズム	8
3.1	概要	8
3.2	移動領域の検出	9
3.2.1	背景差分	9
3.2.2	明るさの正規化	11
3.3	平行移動	15
3.4	二値化	17
3.5	動きの法則	19
3.5.1	人間の構造	19
3.5.2	振子	23
3.5.3	予備実験	24
3.5.4	プログラム上での実現	27
3.6	骨格線抽出	31
3.7	対応点探索	33
第四章	結果,考察	41
4.1	結果	41
4.2	考察と課題	47
	謝辞	48
	参考文献	49

第一章 序章

人間の動作の計測は，ロボットやアニメーションキャラクタの動作生成，医療におけるリハビリテーションの評価，ヒューマンインターフェイスやセキュリティなどの観点から，多くの分野で利用されている．人間の動作を計測する装置として，データスーツやデータグローブなどが普及しているが，これらは被験者に大きな負担をかけることが多く，自然な動作を計測することは困難である．これに対し，ビデオカメラから得られた動画像を利用すれば，人体に接触することなく，自然な状態で動きをとらえることが可能である．[17]

人体のような複雑な構造を持っている対象は，多関節構造を持つ人体モデルを用いることが多い．このモデルと人体像との照合により，人体の姿勢や動作を計測しようとするものである．計測にはカメラが 1 台あれば可能であるが，カメラの光軸方向への動きは見かけの動きが小さくなるため，計測結果の信頼性が低い．これは距離という情報が足りないためであり，距離情報を加えた 3 次元モデルを用いることが多い．3 次元物体の位置姿勢を知るためには，物体の 3 次元モデルを一致させる方法がとられている．[4],[6],[15],[17]

静止画については古くから物体と 3 次元モデルをマッチングさせる，という方法がとられているが，モデルと物体との対応点をどのようにとるか，どのようにマッチングさせるかに重点をおいているものが多い．[4],[6],[14],[15],[17] 本研究では，動きのある対象について，各フレームにおいて予め生成したモデルをフィッティングすることなく，現在のフレームと前フレームから，できるだけ少ない情報量で人体の各部分の動きを推定し，マッチングする方法を考える．

今回はカメラ 1 台で人物の歩行運動を撮影した 2 次元画像を用いる．将来は距離情報を含めた 3 次元画像への適用を考えており，立体情報と動画像処理の融合という観点に立った解析を目指す．最初は 2 次元画像によって解析しその有用性を確かめた上で，3 次元への拡張を行う．物体を立体としたときの動きを解析するための一手法として，基礎となる部分を 2 次元画像によって，また，できるだけ簡単な方法で作成する．

第二章 動画像

2.1 人間の動作

人体は多くの関節から構成され、複雑な形状を持ち、見た目複雑な動作を行っている。人間の動作を画像で解析して動きを抽出しようとする、動作区分点を正確に求めなければならないが、人体の表面から内部の骨格や関節の位置を正確に検出することは本来困難である。しかし、ある一定の行動をする人間（歩き続ける、走り続ける、体操する、踊りを踊るなど）を見ると、規則的な動きをする部分が見られる。考えやすいように普通に歩いている人間を想定し、その動きを観察すると腕や足の動き（特に腕の動き）は、行ったり来たりするだけの規則的な回転運動をしていることが分かる。

次に、人間は関節部を軸とした回転運動を行うが、関節と関節の間では変形が起こらない。即ち、剛体の連結体であると仮定することができる。そこで、軸となる回転中心と、そこを中心とする部分の動きの法則が分かれば、例えば、腕の回転軸の位置を推定し、動きの法則を定式化できれば、これらによって現フレームと前フレームの 2 枚の画像から腕の回転角を計算し、その角度だけ回転を加えることで、前のフレームの状態から動きを復元できるのではないかと考えられる。

これによって、各フレーム間である動きを解析してそのデータを数値化し、以後その数値を用いることにより、初期画像のみ与えればそこから同じ動きを復元できることが期待される。動きのある物体を連続画像前後のフレームでマッチングすることは困難であるが、部分的に現れる運動の規則性と静止点を求め、

解析し処理を加えることで，解析できた部分を中心にマッチングできるのではないかと考えられる．いずれにしても，モデル作成，照合するといった処理を繰り返すのではなく，できるだけ少ない情報量で時間短縮して処理できるような方法を検討する．

2.2 動画像処理

我々の周りには静止している物体だけではなく、移動する物体もある。移動する物体、あるいは、物体は静止していても観察者が環境中を動き回れば、背景も移動して見える。このような移動体を観測したとき、静止画像を用いた処理では、自分も物体も静止した状態の観測であり、1枚の画像ごとに処理が完結しているため、あるフレームで検出された移動物体の領域と、前のフレームでの領域とを結ぶ情報を得ることができない。そのため、観測される物体が観測者に対して相対的にどの方向に進もうとするのか追跡を試みたり、あるいは、その物体の動きを観測しようとする場合、非常に困難と考えられる。そこで、時間というもう一つの特徴を加えることで、対象の時間的变化に関する情報が得られ、多数の画像の集合である時系列画像を用いることで、連続的に対象を検出、処理する試みが盛んになされている。このような処理を動画像処理という。

[1] ~ [3],[7] ~ [13],[16],[18] ~ [19]

第 3 章

アルゴリズム

3.1 概要

処理の流れは次のようなものを考える．

背景差分

重心位置を求め，画面中心へ移動

二値化

細線化

対応点探索

回転角計算

3.2 移動領域の検出

動画画像処理の最初の段階は、画像を定常領域と移動領域に分割することである。ここで、観察者も移動するとさらに難しくなるが、今回、観察者は固定であり、物体のみ移動するものとして話を進める。

3.2.1 背景差分

移動領域を発見する方法として最も簡単なものは、移動領域を含む画像から背景のみの画像の差を利用する方法である。この 2 画面で差分画像を作ると、背景部分での差の絶対値は小さく、物体領域では大きくなる。そこで、ある値（閾値）を決めておき、絶対値の差が閾値より大きければ移動領域、小さければ背景であると区別できる。カメラが何らかの影響で動いている場合は、これに伴って背景も見た目に変化してしまうので、背景も移動物体として抽出してしまう。（船上にカメラを取り付け、他船の領域のみ抽出しようとしても、波の影響により背景も揺れてしまう。）このような場合は極めて不適であると考えられるが、背景の変化が極めて小さい場合は計算時間が短く、ある程度有用であると考えられる。（図 3.1）



入力画像



差分画像

図 3.1 背景差分の例

3.2.2 明るさの正規化

差分処理の決定的な弱点として明るさの変化に対応できない，という点が挙げられる．

デジタル画像は縦横格子状に分割され，一つ一つの升目を画素という．モノクロの場合，濃淡の度合は数値として表され各画素に与えられる．数値が 0 に近づくにつれて黒く，255 に近づくにつれてその部分は白くなる，というように表される．差分画像は濃度を数値で表した濃淡値を，2 枚の画像の各画素同士で差をとるという処理を行なっている．即ち，移動領域を含んだ入力画像と背景のみの画像で明るさが変化してしまうと，濃淡値の差が大きくなってしまい，背景も検出してしまう．特に屋外では明るさの変化が多様に生じ，適用は困難と考えられる．屋内であれば大きな明るさの変化はないと考えられるが，常に一定の明るさを保てるとは限らない．

過去何枚かの背景画像の各画素の濃淡値をそれぞれ平均化した画像を新しい背景画像として更新する方法も考えられるが，移動物体が絶えず現れるような場面にはこの方法では対応できない．

今回，濃淡値を正規化して濃度分布を算出し，定数倍して復元した画像を用いることで，ある程度対応できるものと考えられる．

濃淡値の正規化の式

$$x_{ij} = \frac{I_{ij} - \bar{I}}{\sigma} \quad (3.1)$$

I_{ij} 座標 (i, j) における濃淡値

\bar{I} の平均値

x_{ij} 変換後の濃淡値

σ 定数倍 255

x_{ij} は各濃淡値を全濃淡値の標準偏差で割ることにより正規化を行っている。このとき x_{ij} は 0～1 の値をとり、これを 255 倍することで画像を復元する。即ち、背景の明るさは変わっても濃度パターンは変わらないだろう、という考え方に基づいている。(図 3.2) は基礎実験的に静止画を用いているが、カメラは固定され、背景に見た目の変化はないものと見なせるので、適用できるものと考えられる。

(3.1) 式を用いた変換によって、周囲の明るさが変化しても画像全体の明るさはどれも同じになることを確かめるため、屋内において基礎的な実験を行った。屋内においてカメラを固定した状態で室内の一角を撮影する。このとき、少しずつ蛍光灯を消してゆき、明るさに変化をつけながら撮影する。図 3.2 の左側三枚の静止画は、そのときの室内の様子を表しており、明るさは三段階に分けられている。これ以上蛍光灯が消えた状態、即ち、カメラが置かれた室内の蛍光灯がすべて消え、ドアで連絡された隣の部屋と廊下の蛍光灯だけでは、光が不

足し，満足な画像は得られなかった．

第 1 段階 ... 蛍光灯 9 つ

第 2 段階 ... 蛍光灯 6 つ

第 3 段階 ... 蛍光灯 3 つ

屋外では明るさの変化は頻繁に発生する．時間の経過による変化だけでなく，日中時でも太陽が雲に隠れた場合など明るさが変化する場面は多く見られるが，この程度の変化であれば対応できるものと考えられる．今回は主に屋内で使用するものを想定しているので，明るさは大体一定に保てるが，どんな場所でも常に一定の明るさが保てるとは限らず，もし，明るさに変化が生じても対応できる方法を一考した．

図 3.2 右側の 3 枚の図はそれぞれ処理した後の図で，原画では明るさの変化が生じているが，処理後のものはどれも全体的な明るさは同じぐらいのものになっている．但し，反射が生じる物体については，光が当たる角度によって見え方が違ってしまうので，この部分の濃淡の差が大きくなってしまうことも考えられるが，今回はこの問題についてはメインではないので深くふれていない．



第 1 段階 処理前



第 1 段階 処理後



第 2 段階 処理前



第 2 段階 処理後



第 3 段階 処理前



第 3 段階 処理後

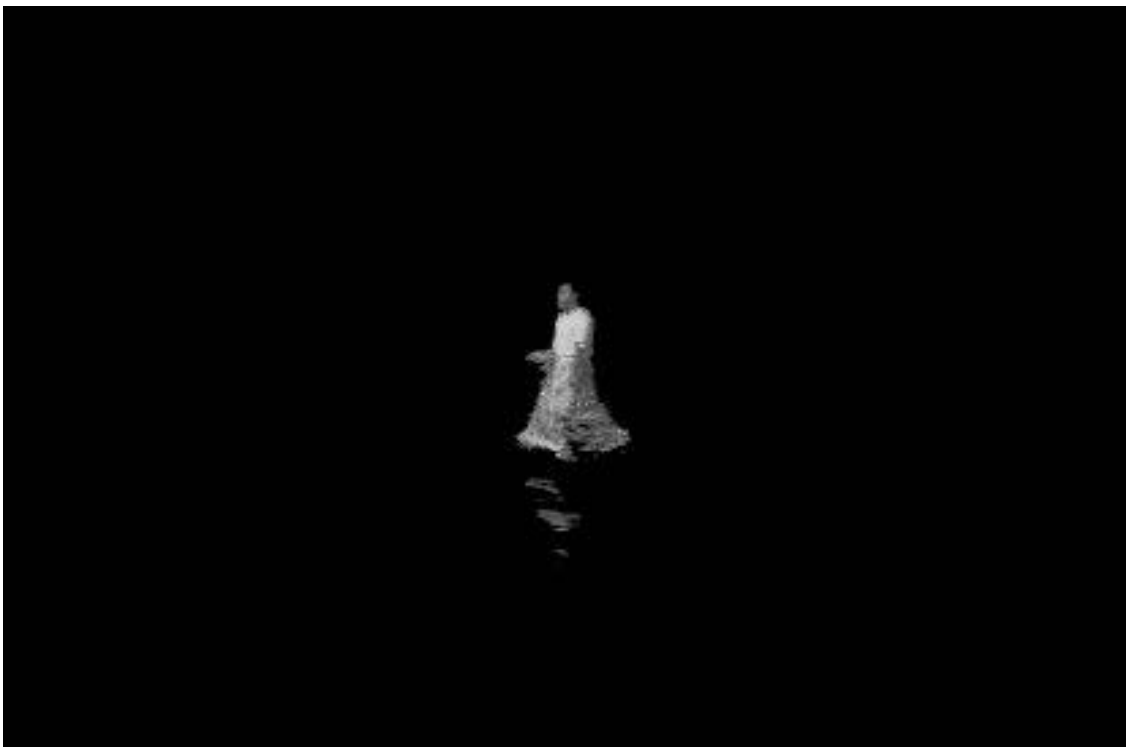
図 3.2 正規化処理前後の静止画

3.3 平行移動

腕が前のフレームから現在のフレームまでどれだけ動いているか、これを解析しなければならないが、対象は 1 点で手だけを振っているだけでなく、移動している。今回、対象は並進運動しているが、定点（関節）の位置も移動してしまい、解析は困難となる。しかし、座標こそ変化するが、人間にとって関節の位置は変わらない。（即ち、突然肩の関節が外れて下半身にくっつく、などということはありません。）時々刻々移動する対象を、身体のある 1 点を抽出し、その点でマッチングさせる方法を考える。並進運動の場合、姿勢の変化は少なく、関節に相当する定点位置はほぼ同じ位置で重なるはずである。ここで、正確に定点位置を求めた後、動きの法則を求め、その動きを再現する、という流れになるが、最初の段階として、背景から抽出された移動領域を画面中央でマッチングさせる。対象となる移動領域の重心位置を求め、この位置を画面中央に平行移動させる形で、領域をまとめて平行移動させる。以下数フレームも同様に処理し、画像を重ね合わせる。（図 3.3） 図 3.3 を見ると、姿勢変化の少ない頭部、胴体部ではほぼ重なっているが、手足の部分でずれが生じてくる。ここで、動きの法則を知ることによって、常に動いている部分が解析され、マッチングされることが期待できる。うまくマッチングされれば、そこで解析された数値を用いることにより初期画像からその動きを少ない情報量で再現することが可能になる。また、部分的にマッチングされた箇所を基にして、3 次元空間内における移動物体のマッチングという話も、短時間による処理が可能になるかもしれない。



歩行する人物の絵を 3 枚重ねた図

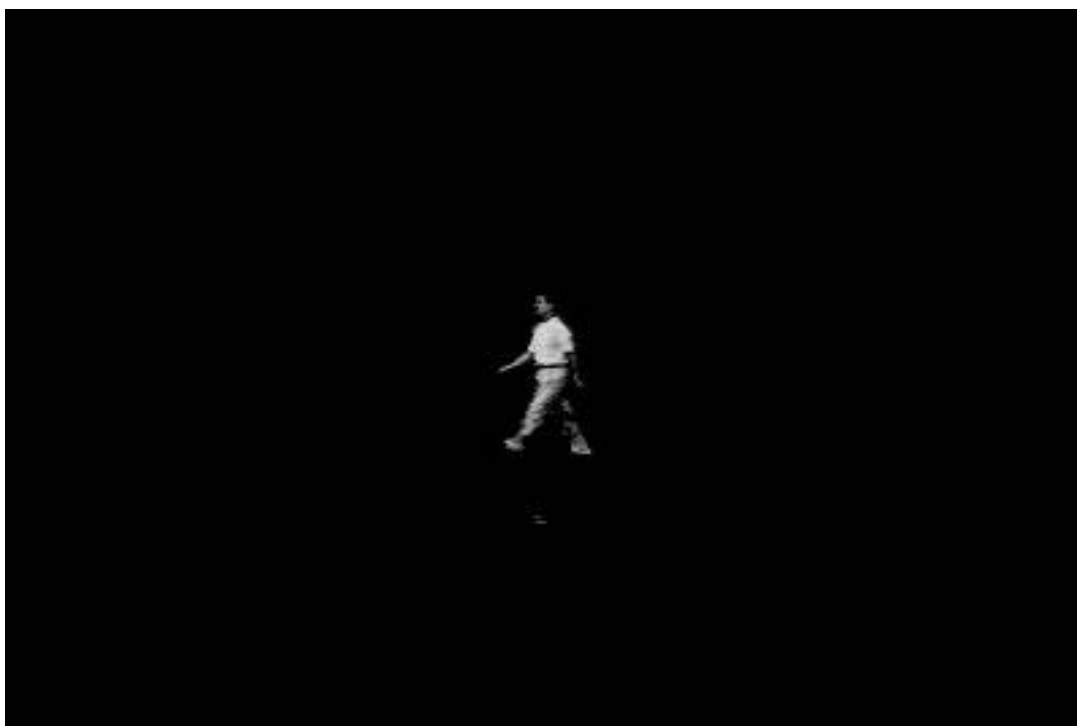


歩行する人物の絵を 10 枚重ねた図

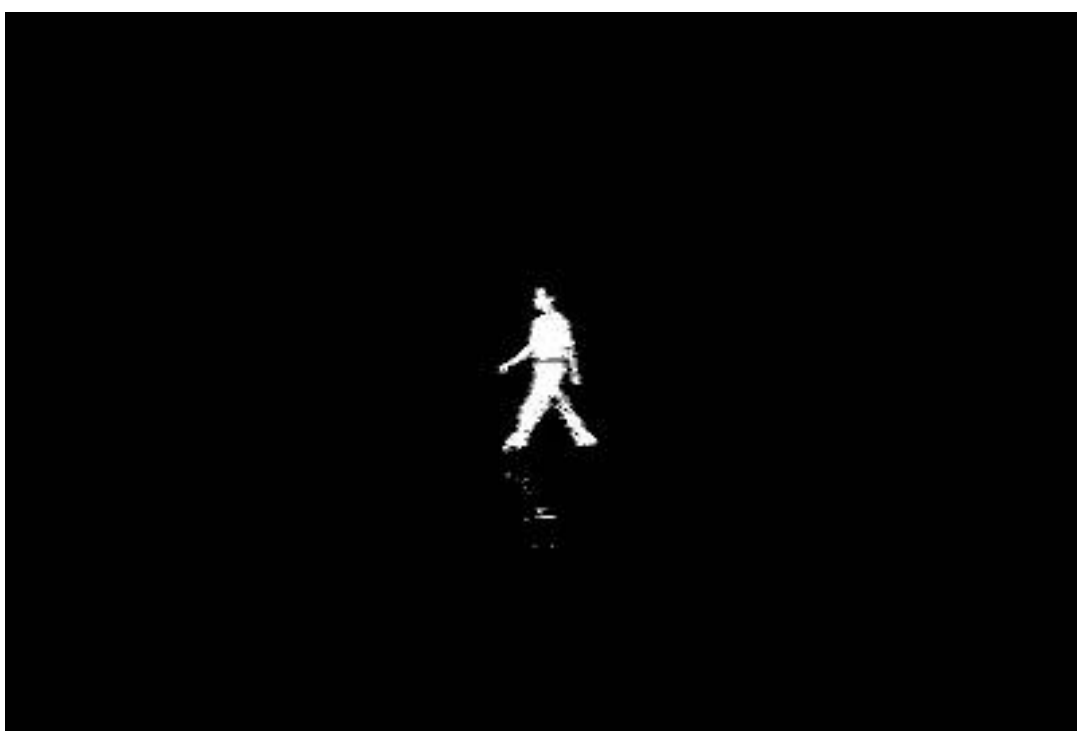
図 3.3 平行移動させた後，数フレーム画像を重心位置で重ねたもの

3.4 二値化

背景差分によって、濃淡値の差がある値以上になった部分を対象となる移動物体領域として抽出しているが、この閾値より大きい値、即ち移動領域に最も明るい 255 の値を与え、その他、背景部分に最も暗い 0 の値を与える。黒か白の領域しか現れないので、この処理を二値化という。これで、移動領域と背景との区別を明確にし、扱いやすくする。



原画像



二値化画像

図 3.4 二値化处理

3.5 動きの法則

人間の構造は複雑であり，手首や指といった細かい関節も含めれば，非常に多くの関節から構成されている．仮に，人間の手と同じ構造を持ったロボットに，人間が手で行ってきた作業について，その動きをロボットに教え込ませる．ねじを回すといった単純な作業から，より複雑な作業までロボットは教えられた通りに動作する．こういったロボットにとって必要なものは手，指の部分の動きであり，足や肩といった関節の動きを教え込ませるとするのは現実的ではない．

即ち，歩行運動，体操している，踊りを踊っているといった人間のおおまかな動きを捉えるのに細かい関節一つ一つすべてを扱うことは現実的ではなく，以下に示すように 10 箇所関節で大別されることが多い．

- ・ 頭部
- ・ 胴体
- ・ 左右上腕
- ・ 左右下腕
- ・ 左右上脚
- ・ 左右下脚

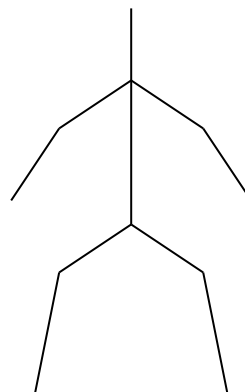


図 3.5 大別した人間の構造

以下の図は，肘や膝に相当する部分がないものと仮定した場合の人間の構造図を表す．

- ・ 頭部
- ・ 胴体
- ・ 左右腕部
- ・ 左右脚部

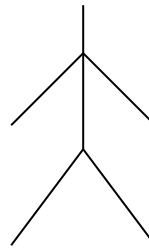


図 3.6 肘，膝なしモデル

人間は複雑な動きをし，見た目にも複雑な形状を表すが，軟体動物のように身体の至るところが変形するわけではなく，部分的に見れば剛体である部分も存在し，剛体の連結体であると見なすことができる．即ち，関節と関節の間の部分では変形が起こらないものとすれば，図 3.5 や 3.6 のような近似的な絵で表すことができる．

人間は多くの関節によって複雑な動きをするが，部分的に見ると規則的な動きをしていることが多い．運動のとき関節と関節の間で変形は起こらないものとする．即ち，人間は剛体の連結体であり，ある定点を中心として規則的な運動を行う．

歩行運動を見てみると，手足の部分は近似的に往復運動をしている．もしかしたら，個々の部分でこうした運動の規則性を一つの式で表すことはできないだろうか．

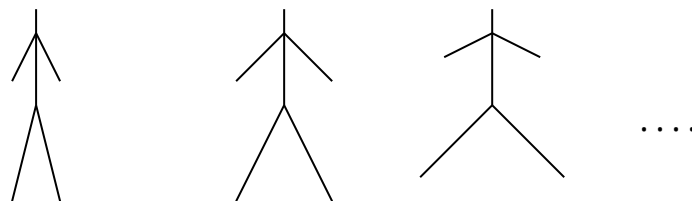
定式化された運動の法則を用いることによって，図 3.3 のように中心位置で重ねた場合，常にずれてくる部分のパラメータを調節することで，ずれていた部分がきれいにマッチングされて出力されるはずである．(図 3.7) また，正しく解析されたとすれば，身体の各部分で解析された値を適用することによって，初期画像のみから動きを復元することも可能になるかもしれない．

ここでは，できるだけ少ない情報量で，またできるだけ簡潔な式で運動の法則を表し，動きの解析方法を検討する．

腕や足の動きは，ある一点を中心として回転運動を行っている．この動きは倒立振子の動きであるとみなすことができる．回転中心は複数あり，複数の振子からなる複雑な運動を生じるが，図 3.5 のように細かい部分を近似し，大きな肘や膝に相当する部分のみ考慮すると，その動きは 2 重振子の動きになる．

倒立振子と見なす近似法が適用できるかどうか，歩行運動を想定し図 3.6 のような肘，膝なしモデルに近似できる，即ち，単振子と見なすことによって運動の解析がうまくいくかどうかを検討する．

人間の歩行動作



これを画像の中心で重ね合わせる．

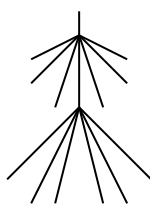
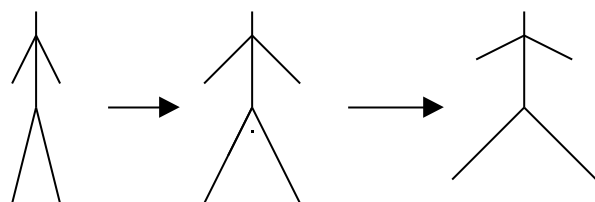


図 3.3 のように手足が常にずれた絵
になってしまう．

運動の規則性を見出し，移動前の状態から移動後の状態を計算によって推測し，重ね合わせる．すると，図 3.3 の状態で出力された絵が，うまく手足がマッチングされた状態で出力される．また，このとき解析された値を用いれば，初期画像のみからこの動きを復元することも期待される．



手足がマッチングして出力されるはずである．

図 3.7 予想出力図

3.5.2 振り子

倒立振子の回転角は以下の式により計算する．

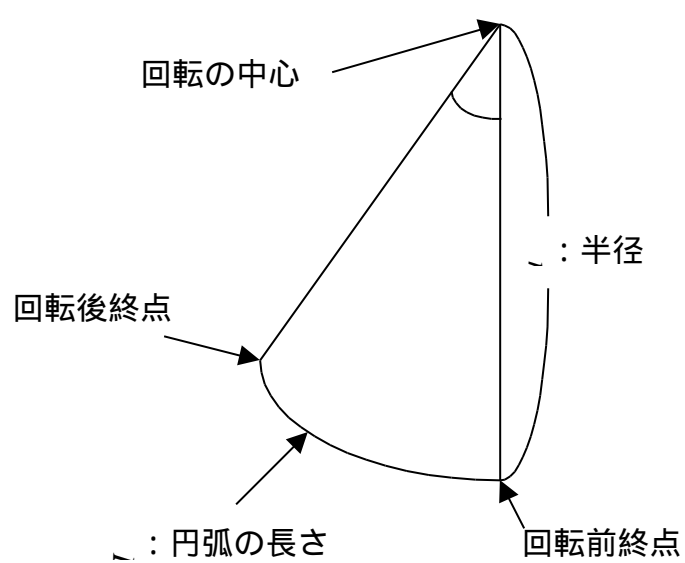


図 3.8 倒立振子の回転角

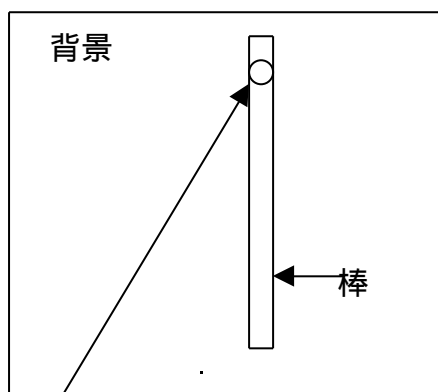
回転角：

$$\theta = \frac{l}{r} \quad [\text{rad}] \quad (3.2)$$

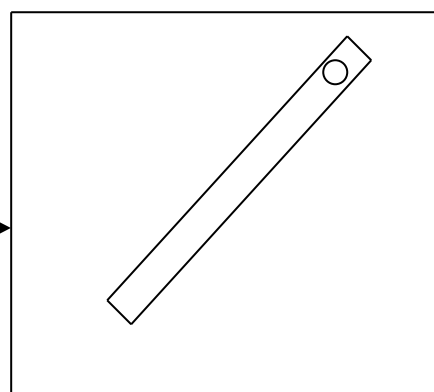
で表される．

3.5.3 予備実験

振子モデルを用いて回転角を計算し，回転処理を加えた棒の位置と実際に回転させた棒の位置が，ほぼ一致するかどうかを確認するために予備実験を行う．



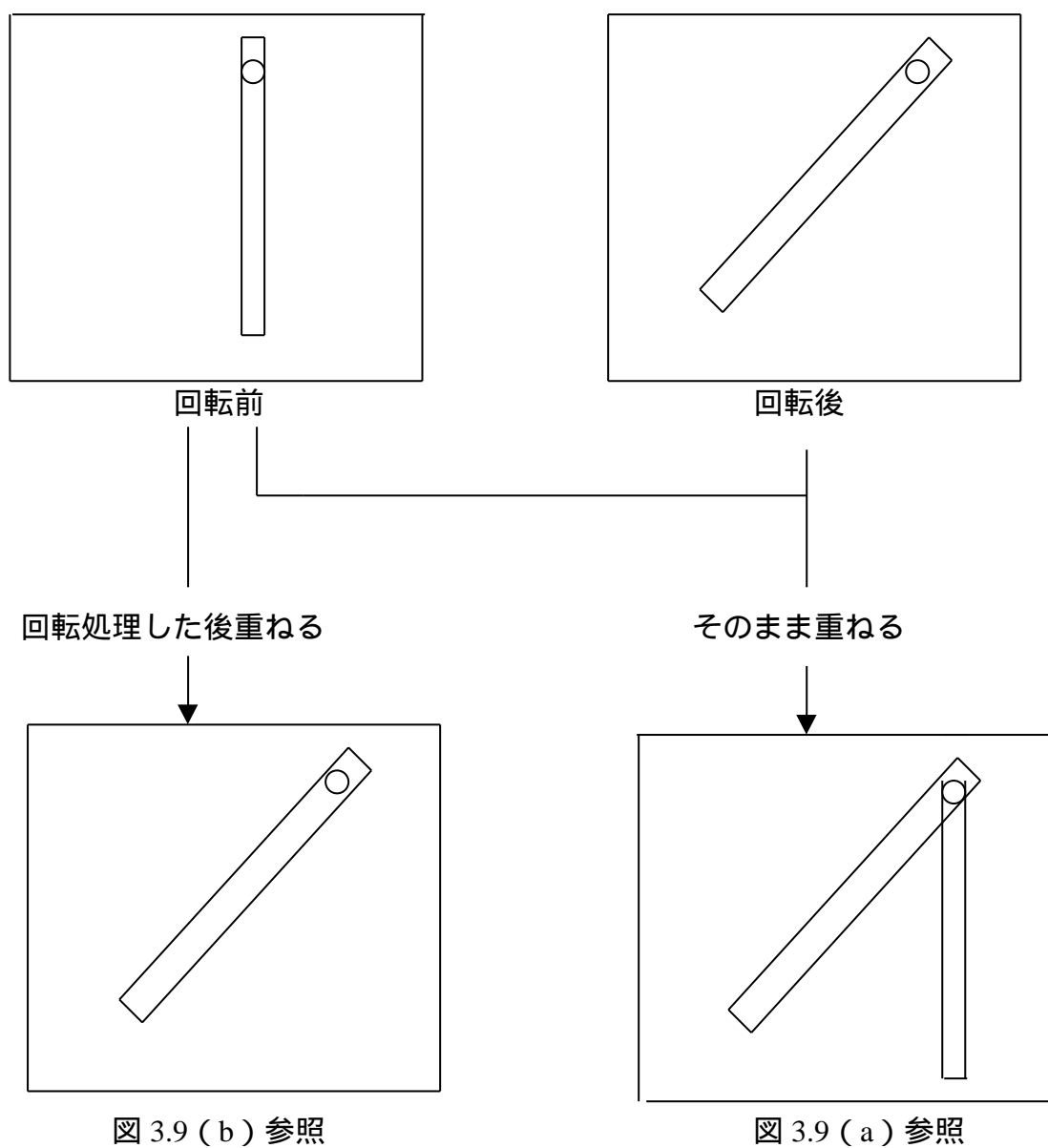
回転の中心となる部分を画鋏でとめる
この状態を撮影する．



棒を 20～30 度傾けた状態で
撮影する．



棒のない背景だけの画像も撮影しておいて，
背景差分処理を行う際利用する．



計算による回転処理後の棒の位置と、実際の棒の位置は重なって出力される。結果を見るとほぼ回転角は求められているが、まだ誤差が目立ち、改善の余地がある。



図 3.9 (a)

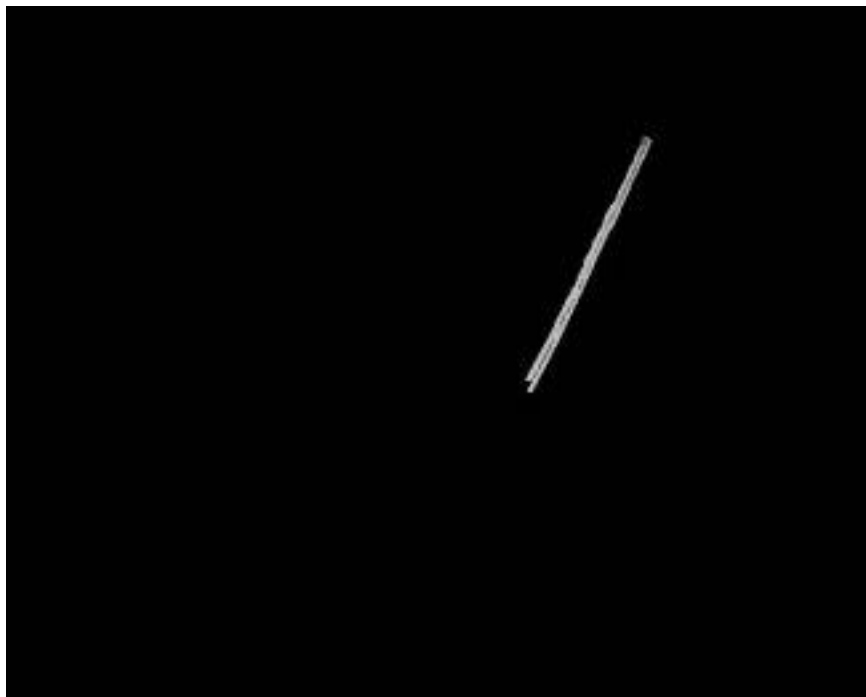


図 3.9 (b) 予備実験

3.5.4 プログラム上での実現

まず，背景から棒のみ抽出するため，背景差分して二値化する．但し，前述のように背景差分は単純な方法である代わりにノイズの影響を受けやすい．明るさの変化については 3.2 で対処しているが，カメラの視点が少し動いてしまった，背景が少し変化してしまった，そのようなわずかな誤差でも敏感に抽出してしまう．今回も次のようなノイズが含まれた．

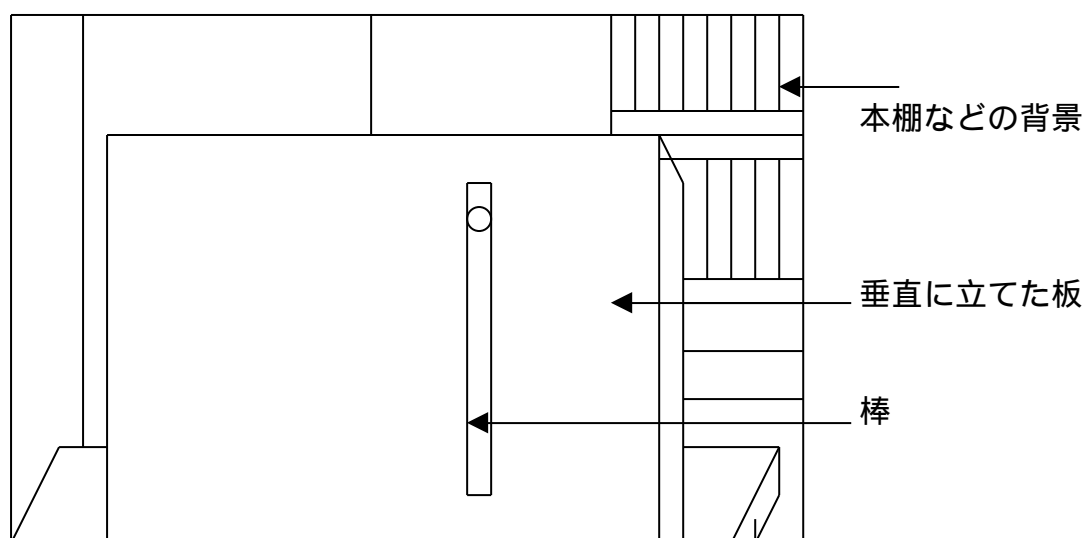


図 3.10 実験時の様子

次頁の図に示すように板と背景の境界の部分に線が現れた．下の机が揺れた，視点がずれた，など理由が考えられるが，背景のテンプレートと若干のずれが生じてしまった．

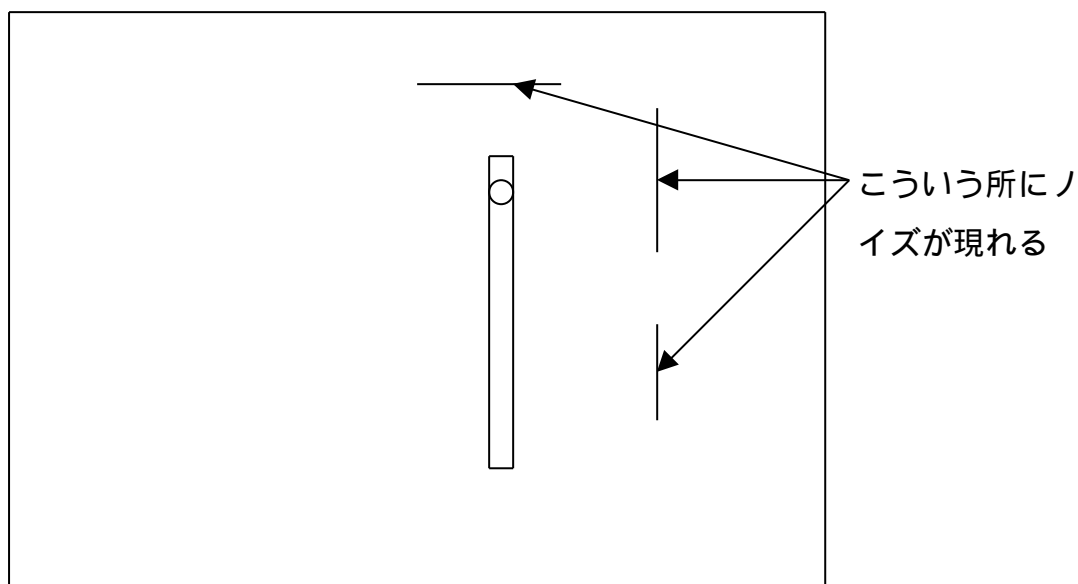


図 3.11 ノイズが現れた状態

ノイズが被写体より小さい，または細い場合は収縮とよばれる処理によって消去することが可能である．収縮は画面を走査する上で，濃淡値に 255 の値（白）を与えられた画素について周囲 8 方向を探索して，0（黒）の画素があったら注目している画素を 0 とする．この処理によって被写体は一回り小さくなるが，細く現れたノイズや，小さいノイズは塗りつぶされ消去することができる．

また，細くなった被写体を元に戻すときは，膨張とよばれる収縮と逆の作業を行うことによって復元することができる．これは，走査を行い，もし周囲に 255 の濃淡値を与えられた画素が見つかったら，注目画素に 255 の値を与えるというものである．

収縮処理

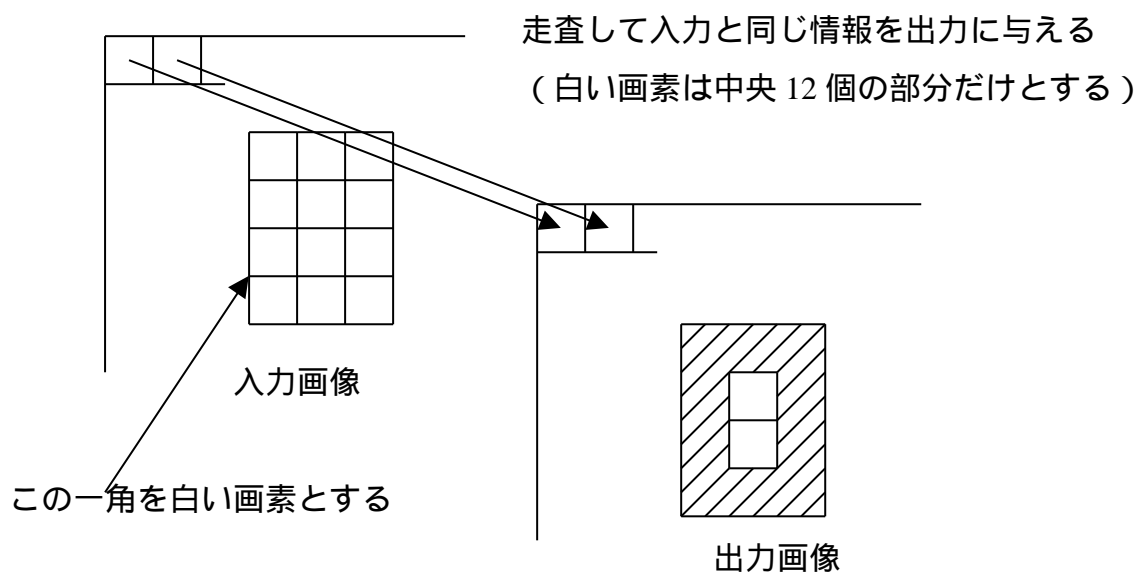


図 3.11 収縮処理

この時点では入力と出力に同じ情報が与えられている．ここで入力画像を見て，白い画素が与えられた部分について注目し，画素の周囲 8 近傍を調べ，もし，黒い画素と隣り合っていた場合，その部分は黒く塗りつぶす．図 3.11 の斜線の部分が相当する．斜線の中の部分は，入力画像を見る限り，黒い画素とは隣り合っておらず，このような部分は白いまま残される．こうすると被写体は一回り小さくなるが，細く現れたノイズを消し去ることができる．このような処理を収縮という．

棒の回転角を計算するためには、棒の長さ L と弧の長さ s が必要となる。(式(3.2)

参照)

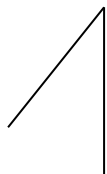
(1)



回転前を基準の位置として、回転中心から終点までの長さを求める。

図 3.12(a)

(2)

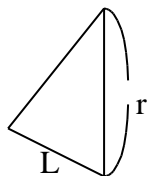


次に回転後の画像において、回転中心からの長さが(1)で求めた棒の長さと一致する点を移動後の終点として対応づける。

図 3.12(b)

同じ長さになった点を移動後の終点とする

(3)



対応づけられた移動前後の終点位置の座標から、弧の長さを求める。(角度が小さい場合は直線に近似できる)

図 3.12(c)

(4)

(3.2)式より回転角を計算し、計算で求めた棒の回転位置と実際の回転された位置が重なるかどうかを確かめる。

結果は図 3.9 参照。多少の誤差はあるが、大体一致している。

3.6 骨格線抽出

二値化，画像中心への平行移動を施した人物領域から骨格となる線を抽出する．これは，画面を走査するにあたり，濃淡値に 255 の値を与えられた領域，即ち，人物領域の座標値を各列方向ごとに平均値をとり，平均の座標を代表として出力したものである．(図 3.13，3.14 参照)

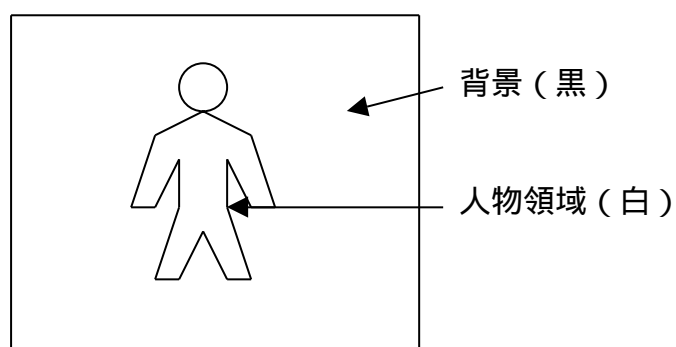


図 3.13(a) 二値画像

人物領域の平均値をとる

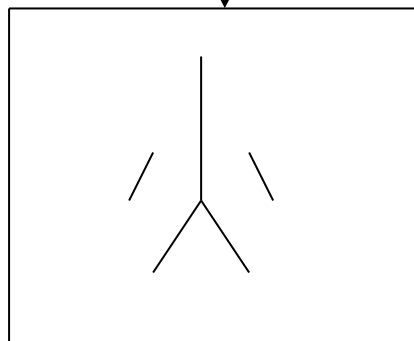


図 3.13(b) 骨格線



図 3.14 (a) 二値化

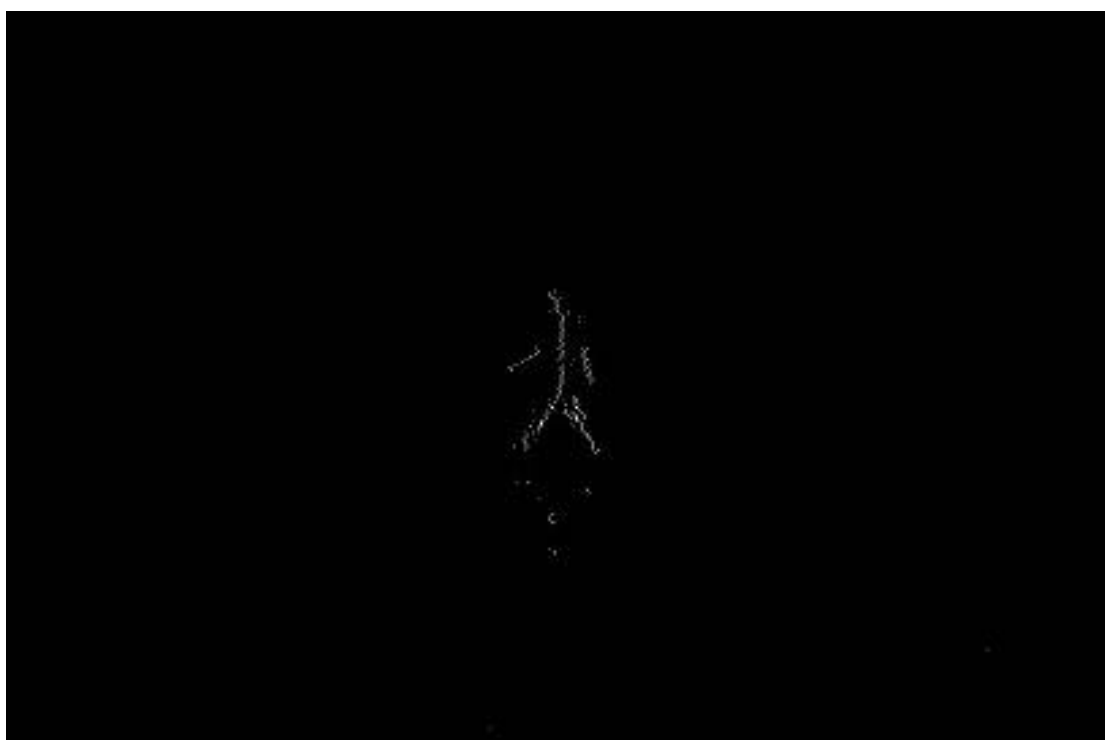


図 3.14 (b) 骨格線

3.7 対応点探索

図 3.13(b)のように人体の骨格線を抽出し，これを連続するフレームで行う．このフレーム同士を重ね合わせると，これまで述べてきたように，ある一つの静止点を中心とした振り子の運動であるかのように見える．(図 3.14(a))

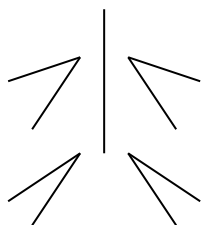


図 3.14 重ね合わせたときの出力イメージ

こうして得られた絵から，スティックの静止点と回転量を推定しなければならないが，3.5.3 のような予備実験と異なり，

- (1) 複数の振り子が存在すること
 - (2) 互いに関係のないスティックも含まれていること
 - (3) ノイズや誤差の影響でスティックの交点が消えてしまっていること
- といった要因から 頁のような簡単な方法では静止点と回転角が推定できない．

そこで次頁から示すように推定する方法を提案する．

まず，スティックの移動前後で対応点がわかっている場合を考える．

(1) 対応点同士を直線で結ぶ（三角形の底辺とする）

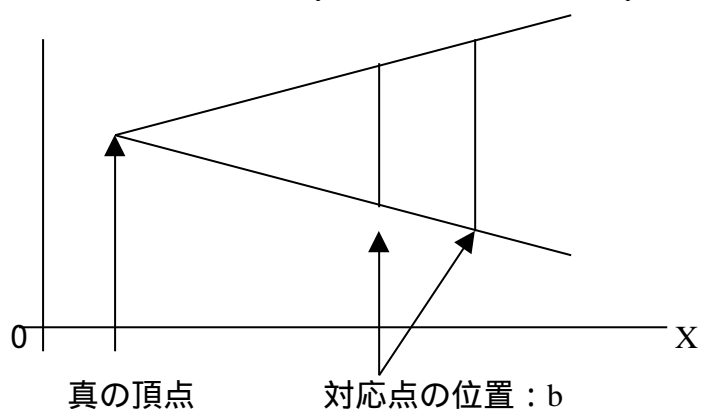


図 3.15(a) 対応点を手動で選定した場合の角度推定

現時点ではまだ真の頂点位置はわからない．まずはわかっている対応点同士を直線で結び，頂点位置の x 方向の座標を b とする．（ b の数値は各対応点ごとものさしで測ってみればすぐにわかる．）

(2) (1)の直線に対する垂直二等分線を引く

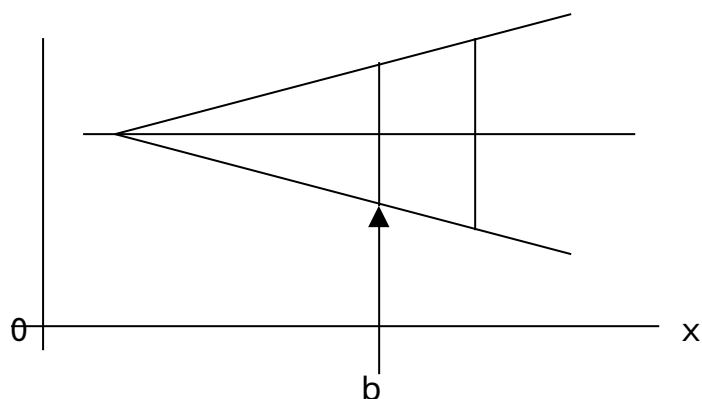
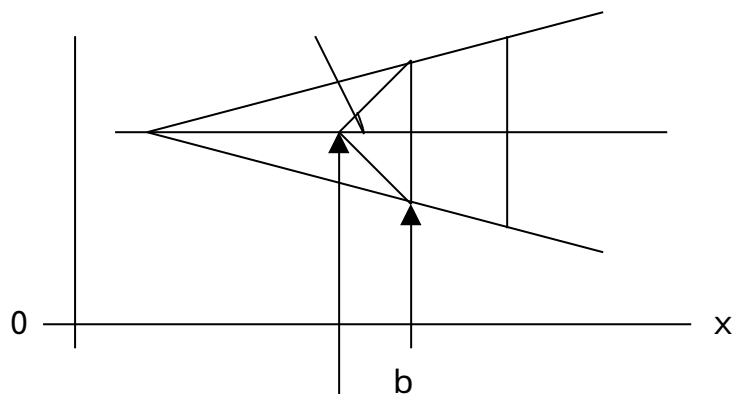


図 3.15(b) 対応点を手動で選定した場合の角度推定法

(3) 垂直二等分線上に適当に点をとる（三角形の頂点とする）



x : 頂点をとって直線で結び三角形を形成する

図 3.15(c) 対応点を手動で選定した場合の角度推定法

このときの頂点の角度の $1/2$ の値を計算する .

$$\tan^{-1} \left(\frac{b}{x} \right) \quad (3.3)$$

a : 底辺の $1/2$ の長さ b : 対応点位置 x : 頂点位置

(4) 二等分線上で頂点を移動して同様の計算を行う

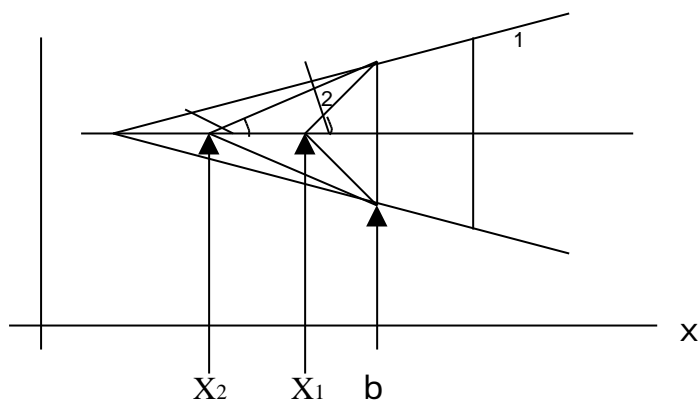


図 3.15(d) 対応点を手動で選定した場合の角度推定法

頂点位置を X_1 から X_2 へ移動して同様に計算する .

(5) 一つの対応点で処理が終わったら別の対応点でも同様の処理を繰り返す

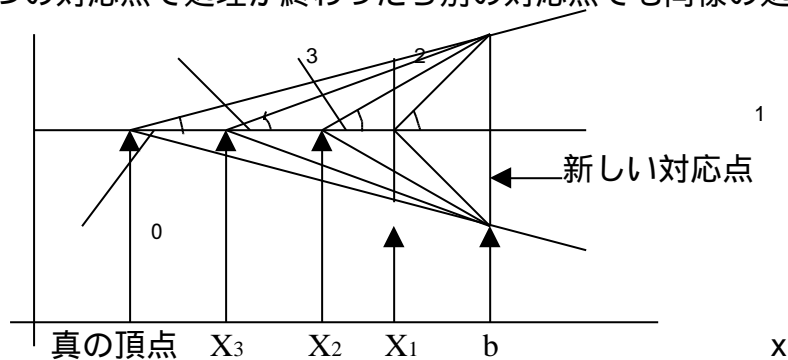


図 3.15(e) 対応点を手動で選定した場合の角度推定法

$1, 2, 3, \dots, 0$ すべての角度を計算したら，また別の対応点同士で計算を行う．すべての対応点で処理を行うと，頂点の位置が，真の位置と一致した点の角度，即ち

0 のときの値に解が集中することになる．このときの 0 を2倍した値が求める回転角であると推定される．

図 3.16 のグラフは予備実験に用いた絵を利用して手動で対応点を選定し，角度を推定したものである．縦軸に角度（単位はラジアン），横軸は垂直二等分線を軸としたときの頂点位置を表す．

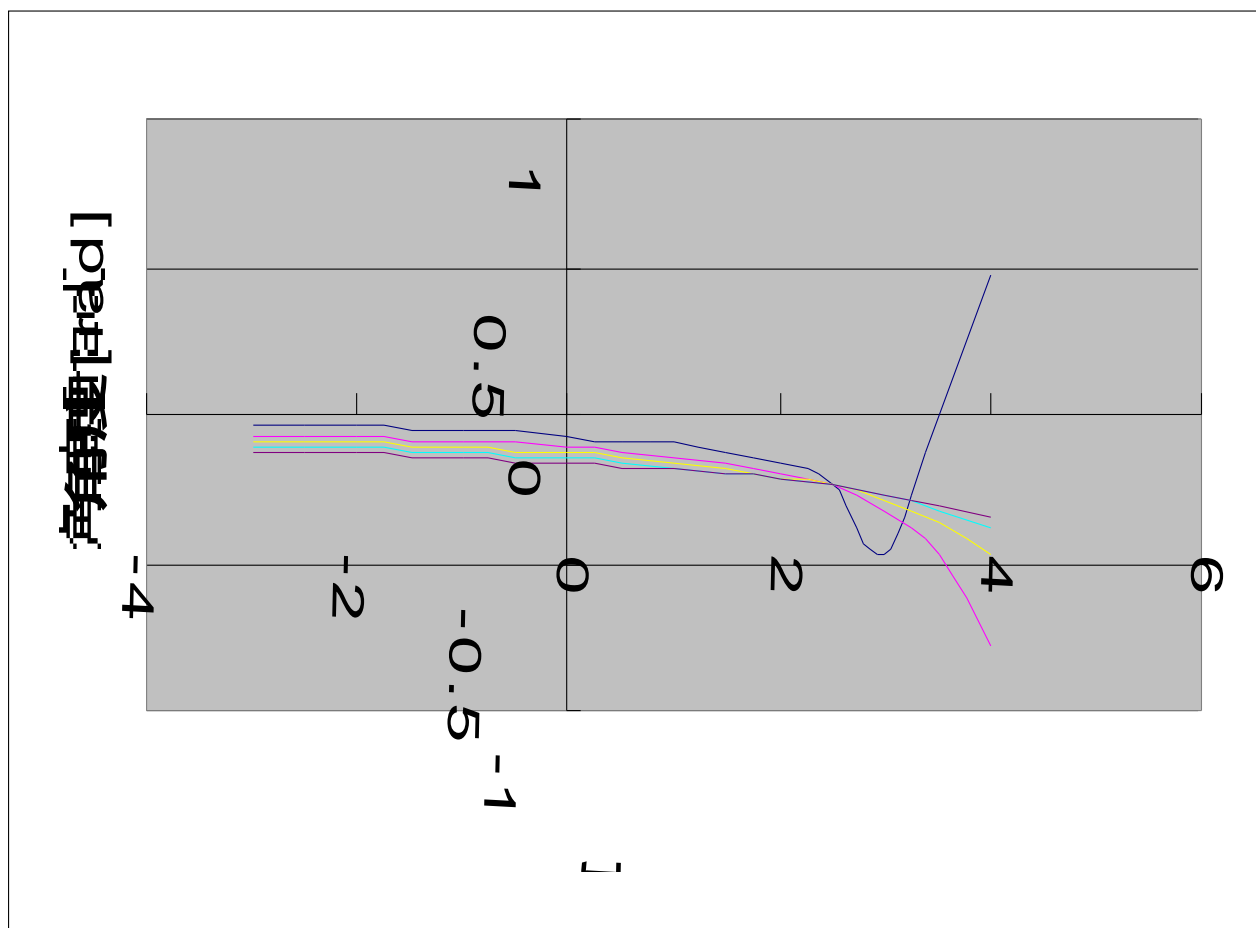


図 3.16 対応点を手動で選定した場合の角度推定結果

横軸 2.5 の位置で角度の値が集中していることがわかる．この角度を度に換算すると約 14 度程度，推定された回転角は 28 度．棒の角度は約 30 度程度であるので，ほぼ推定された角度は一致しているものと考えられる．なお，今回選定した対応点の数は 5 つである．

先の例では，移動前後で予め対応点がわかっていることを想定していたが，対応点がわからない場合の処理について以下に述べる．

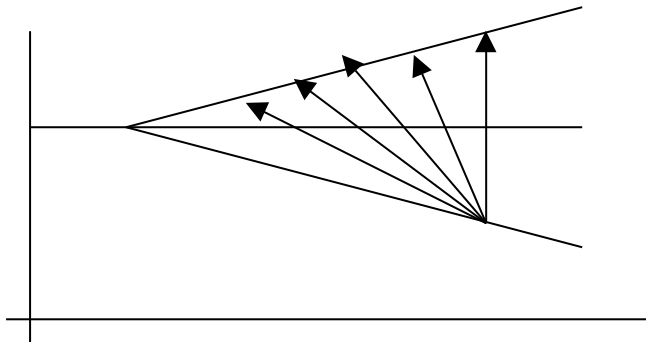


図 3.17 対応点がわからない場合を想定した推定法

棒の移動前後で対応点がわからない場合は，棒上のすべての点の組合せについて同様の処理を行う．即ち，点の組合せすべてについて

- (1) 各点同士を直線で結ぶ
- (2) 垂直二等分線を引く
- (3) 二等分線上に頂点をとる
- (4) 角度を計算する
- (5) 頂点位置をずらしながら角度を計算する
- (6) 一連の処理が終わったら，別の対応点の組合せで同様の処理を行う．

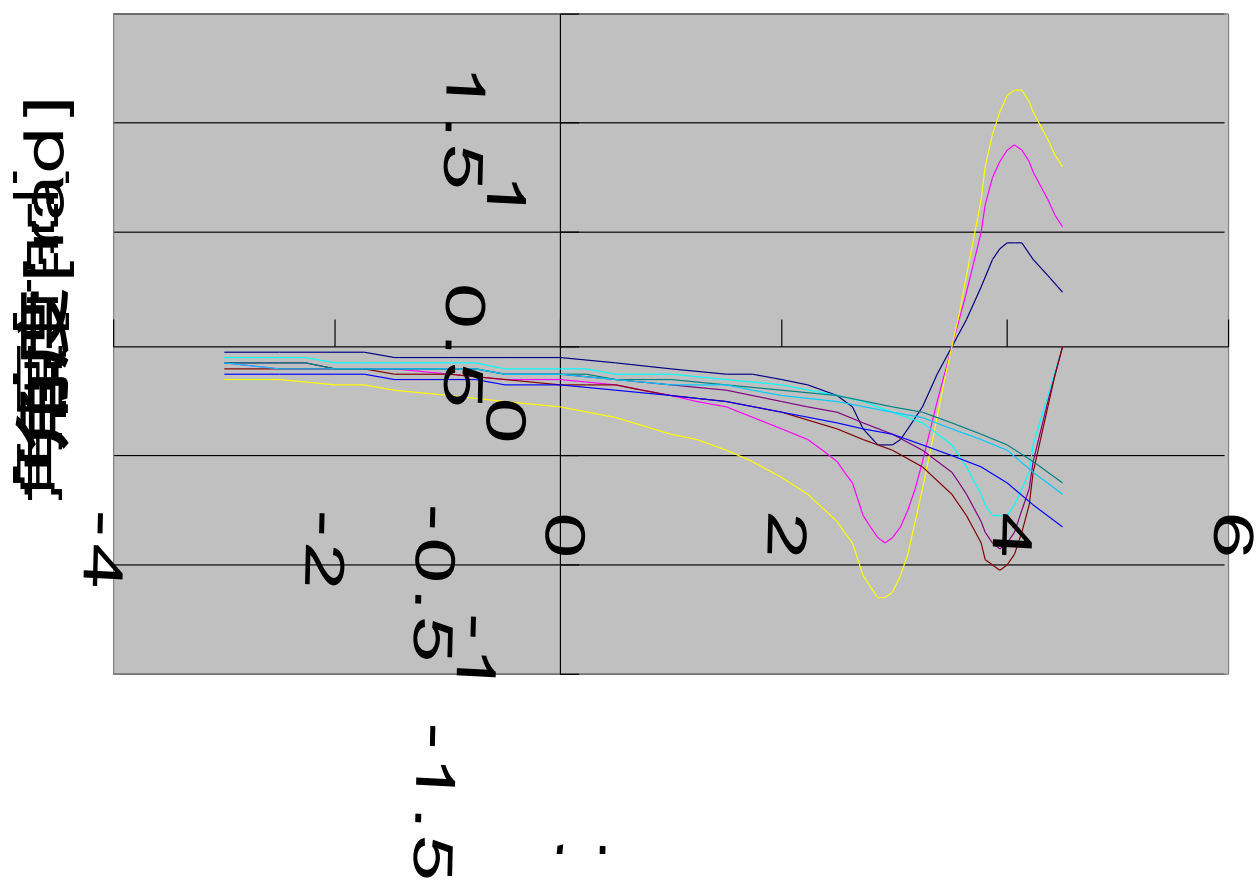


図 3.18 発見したすべての点の組合せについての処理結果

図 3.18 は、図 3.16 のときと同じ図を用い、移動前後のスティック上に 3 つずつ点を取り、9 通りすべての組合せについて上記の処理を行っている。図が見づらくなってしまったが、横軸 2.5 程度で値が最も集中しているという結果が得られている。このときの角度は約 14 度、推定される角度は 28 度程度ということで、同様の結果が得られている。

第 4 章

結果，考察

4.1 結果

実験は屋外で風のない日に撮影されたもので，背景にずれはない．ここを人間がカメラに対し，並進運動する場面を撮影した．処理は，背景差分，重心を平行移動，二値化，骨格線抽出，対応点探索の順に示す．



图 4.1 原画像



图 4.2 背景差分

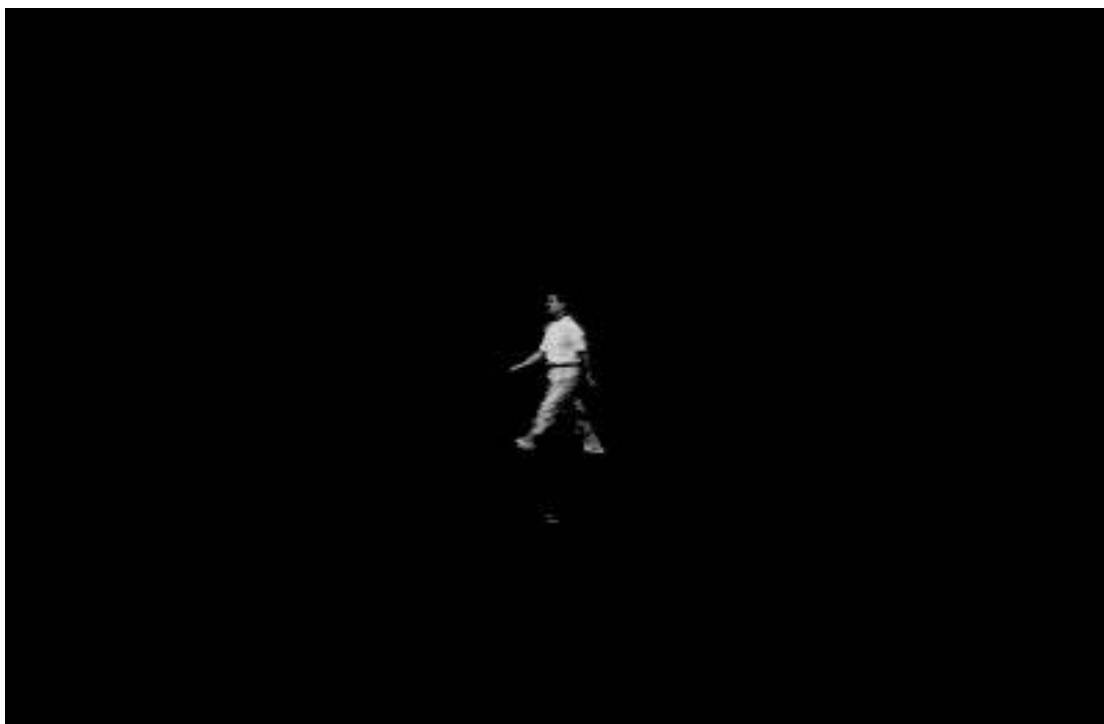


図 4.3 平行移動

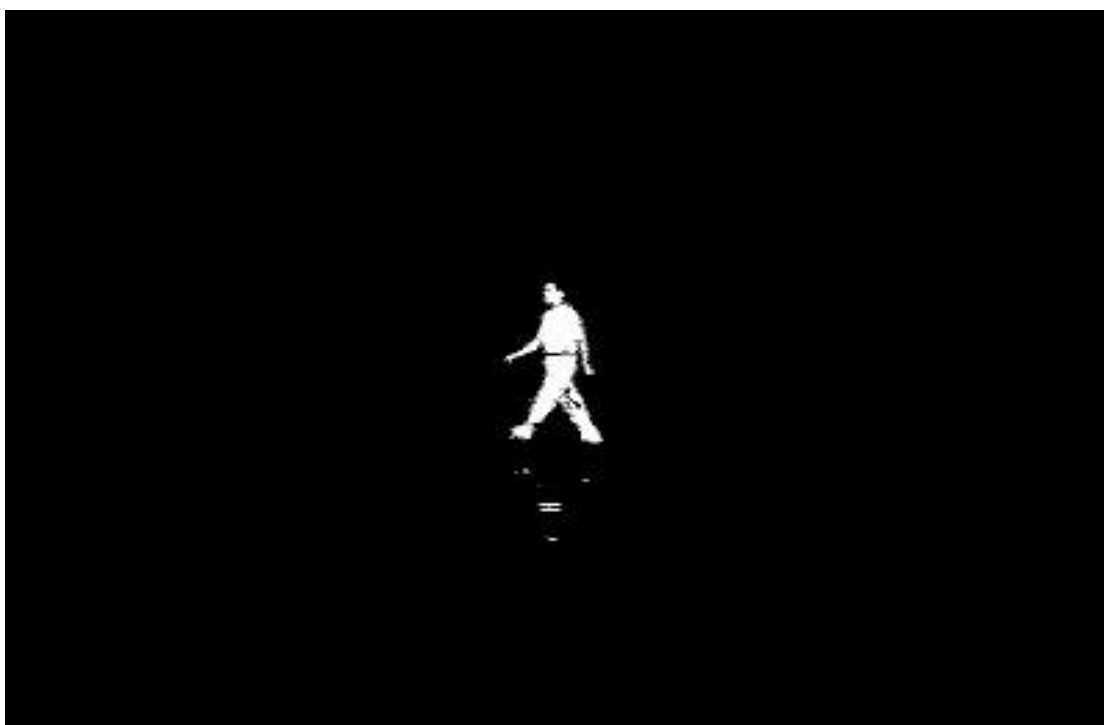


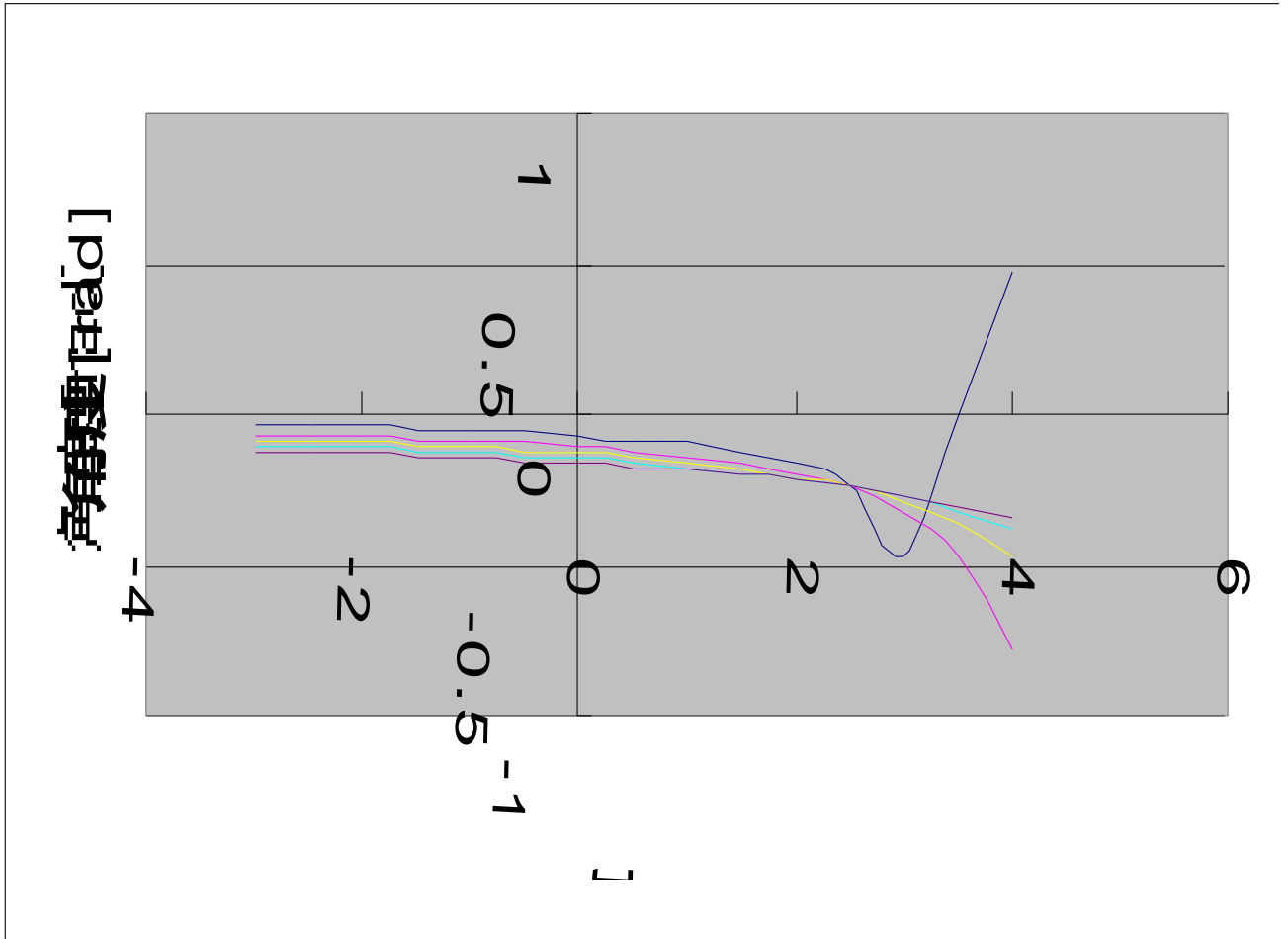
図 4.4 二値化



図 4.5 骨格線

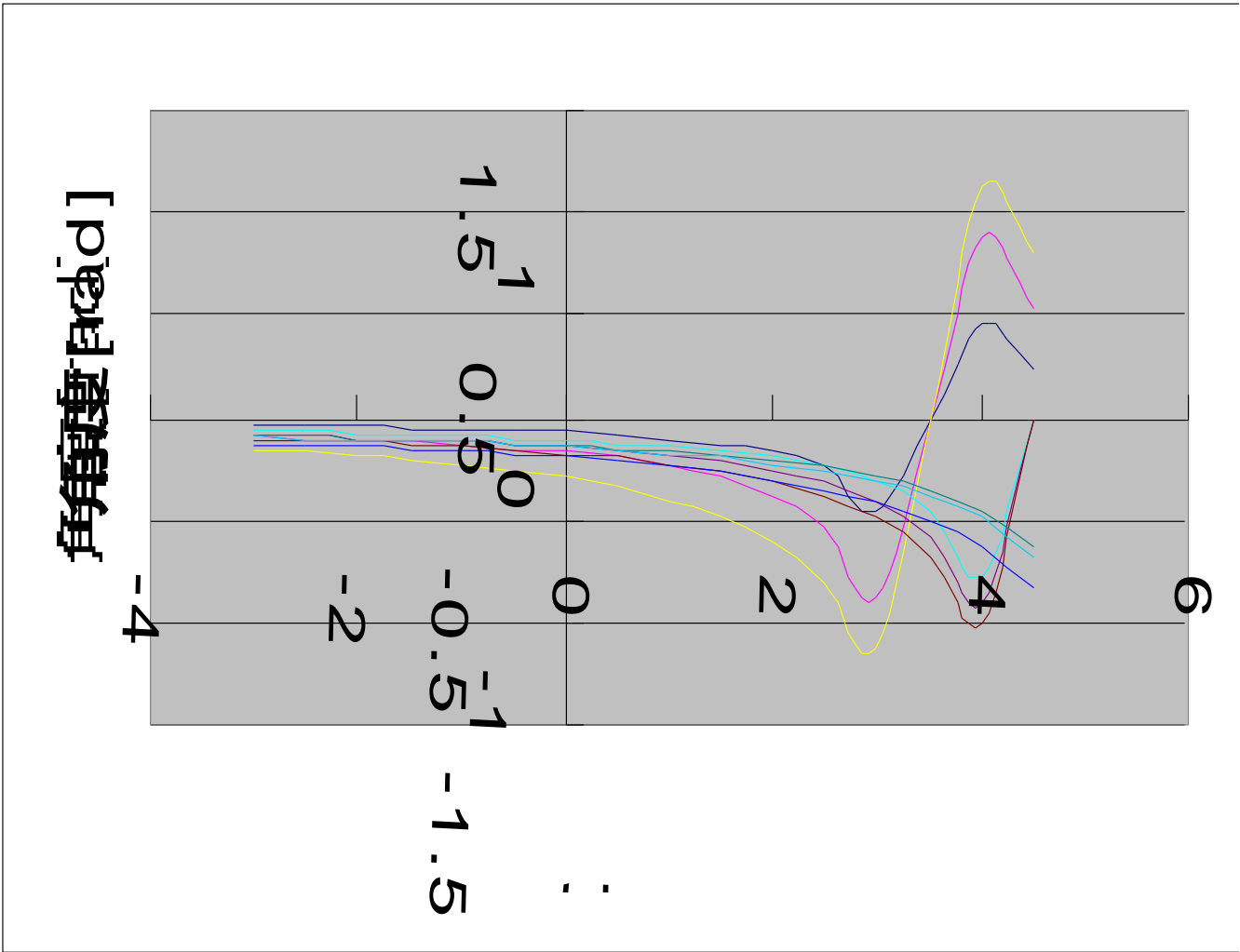
振り子モデルを用いた回転角の推定結果

スティックの移動前後の対応点がわかっていることを想定した場合



対応点を手動で選定した場合の角度推定結果

スティック上の任意の点を選んで，すべての組合せについて処理した場合



スティック上任意の点すべての組合せについての処理結果

4.2 考察と課題

動いている物体をスティックモデルで表し，その回転角と，回転の中心点を求める方法を示した．この方法において，まず手動で対応点を選び，推定された角度と，実際の角度がほぼ一致するかどうかを確かめた．また，同図を用いてスティック上にある点をいくつか任意に選び出し，すべての組合せについて同様の処理を行っても，回転角が推定されることを示した．この方法は画像処理において，ハフ変換と呼ばれる考え方を参考にしたものであり，考え得るすべての組合せについて処理するので，やや計算に時間がかかることが予想されるが，手動による結果を見てみると，この方法の自動化が可能であると考えられる．

今後の課題として，対応点探索の自動化，互いに独立したスティックが複数混ざっていたときでも求められるかどうかの確認，対象を人間にした場合の解析，光軸方向への動きなど複雑な動きへの対応，といった点が挙げられる．

謝辞

本研究を遂行するにあたり，交通電子機械工学講座情報システム研究室の大島正毅教授には丁寧な御指導を頂きました．この場を借りて深く感謝致します．また，同講座の全へい東助教授，長谷川為春研究員には，多くの貴重な御意見を頂きました．深く感謝致します．また，円滑に研究を遂行するため，大変多くの討論の時間を割いて頂き，協力して下さい，同講座同研究室の本多健二技官をはじめ，同研究室諸氏に深く感謝致します．

参考文献

- [1]岡田 隆三，白井 良明，三浦 純，久野 義徳，“ オプティカルフローと距離情報に基づく動物体追跡 ”，電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j80-D-No.6 pp.1530-1538，1997 年 6 月
- [2]岡田 隆三，白井 良明，三浦 純，久野 義徳，“ オプティカルフローと距離情報の統合による 3 次元運動する人間の追跡 ”，電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j82-D- No.8 pp.1252-1261，1999 年 8 月
- [3]長井 敦，白井 良明，久野 義徳，“ 複雑変動背景下における移動物体の検出 ”，電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j80-D- No.5 pp.1086-1095，1997 年 5 月
- [4]大島 正毅，白井 良明，“ 3 次元情報を用いた物体認識 ”，電子情報通信学会論文誌 別刷 Vol.j65-D No.5 pp.1086-1095，1982 年 5 月
- [5]長井 敦，白井 良明，久野 義徳，“ 複雑変動背景下における移動物体の検出 ”，電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j80-D- No.5 pp.1086-1095，1997 年 5 月
- [6]角 保志，富田 文明，“ ステレオビジョンによる 3 次元物体の認識 ”，電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j80-D- No.5 pp.1105-1112，1997 年 5 月
- [7]依田 育士，坂上 勝彦，“ 3 次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識 ”，電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j81-D- No.9 pp.2043-2051，1998 年 9 月
- [8]小野口 一則，武田 信之，渡辺 睦 “ ステレオ画像の平面投影による移動障害物位置検出 ”，電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j81-D- No.8 pp.1895-1903，1998 年 8 月

- [9] 渡辺 斉, 和田 俊和, 松山 隆司 “ 照明変化に対して頑健な背景差分法 ”,
コンピュータビジョンとイメージメディア 115 3 pp.17-24, 1999, 3, 18
- [10] 池田 徹, 大中 慎一, 溝口 正典 “ 画像の一様変化に高速追従する
背景画像生成手法 ”, 信学技報 PRMU97-7 pp.49-56, 1997 年 5 月
- [11] 高橋 一哉, 北村 忠明, 小林 芳樹 “ 画像処理による交通流監視方
法の研究 ”, 信学技報 PRMU97-6 pp.41-48, 1997 年 5 月
- [12] 高藤 政雄, 北村 忠明, 小林 芳樹 “ 空間微分および差分処理を用
いた車両検出 ”, 電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j80-D- No.11 pp.2976-
2986, 1997 年 11 月
- [13] 林 健太郎, 久野 義徳, 島田 信敬, 白井 義明 “ 動的ロバストキ
ャリブレーションによる人体の姿勢復元 ”, 電子情報通信学会論文誌 D-
Vol.j83-D- No.3 pp.977-987, 2000 年 3 月
- [14] 星野 准一, 増田 功, “ 局所的な輝度変動にロバストなパノラマ画像
生成法 ”, 電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j82-D- No.2 pp.222-229, 1999
年 2 月
- [15] 河井 良浩, 植芝 俊夫, 吉見 隆, 大島 正毅 “ 多視点レンジデー
タからの 3 次元形状復元 ”, 電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j75-D- No.4
pp.737-748, 1992 年 4 月
- [16] 鈴木 充雄, 大島 正毅 “ 船上からの時系列画像を用いた航行船舶の
検出実験 ”, 日本航海学会第 99 回講演会, 1998 年 11 月

- [17] 大崎 喜彦, 山本 正信, “ステレオ画像からの3次元近似モデルのモデルフィッティング”, 電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j81-D- No.6 pp.1259-1268, 1998 年 6 月
- [18] 木本 伊彦, 梶谷 昭彦, 安田 康彦 “スティックモデルに基づく単眼視動画像からの人体歩行運動の解析の一手法”, 電子情報通信学会論文誌 D- Vol.j74-D- No.3 pp.1259-1268, 1991 年 3 月
- [19] 加藤 尚徳, 尺長 健, “スティックモデルを用いたステレオ画像からの人物姿勢の連続的推定”, 信学技報 D- PRMU98-255 No.3 pp.81-88, 1999 年 3 月