

**O2-11**

**無拘束歩行訓練ロボットにおける転倒判別のための頭部三次元座標取得プログラム開発**

**Program development of Measuring three-dimensional coordinate of trainee's head for Gait rehabilitation robot system with unrestraint**

○ 新免 涼 (立命館大) 野方 誠 (立命館大)

Ryo SHINMEN, Ritsumeikan University  
Makoto NOKATA, Ritsumeikan University

**Abstract:** In Japan that is a super-aged society, increases of those who train walking are expected due to the decrease physical strength and diseases because of aging. The robot to rehabilitate human walking with unrestraint is developed in the present study because it is thought that the demand for the invalid aid increases. The robot to rehabilitate human walking with unrestraint has three mechanisms of a follow operation mechanism, an energy-absorbing mechanism, and the fall detection mechanism. It introduces the three dimensional coordinate acquisition program in the fall distinction mechanism. To acquire the three dimensional coordinate, I develop the program that combined the face detection, the particle filter and the stereo seeing.

**Key Words:** gait rehabilitation robot, face detection, particle filter, stereo seeing

1. はじめに

超高齢社会である日本では、加齢に伴う疾病、身体機能の低下により、歩行機能に障がいをもつ患者の増加が懸念される。これに伴い、歩行機能の改善・維持を目的とした歩行訓練の需要が増加し、訓練を支援する理学療法士の身体的負担の増加が懸念される。また、既存の歩行訓練機器は天井や機器から伸びるスリングにより訓練者の体を拘束し、吊り下げるような形で転倒の防止を行っている。このような機器の問題点は、天井裏に大規模な工事が必要になってしまう、訓練場所を限定してしまうといった問題点がある。

本研究では、歩行訓練における理学療法士の身体的負担の軽減と、自然歩行に近い状態での歩行訓練を支援できる無拘束歩行訓練ロボットの開発を行っている[1]。ロボット概要図を以下の Fig. 1 に示す。

無拘束歩行訓練ロボットとは、カメラにより訓練者の頭部三次元位置を計測し、その情報を元に転倒を判別する転倒判別機構、転倒時に訓練者の体を支える衝撃吸収機構、訓練者の足位置を検出し、実機が訓練者の歩行に追従する追従動作機構の大きく3つの機構を有している。本稿では、非接触で訓練者の状態計測が行えるカメラでの動画処理を用い、転倒判別のための頭部三次元座標取得プログラムの開発について紹介する。

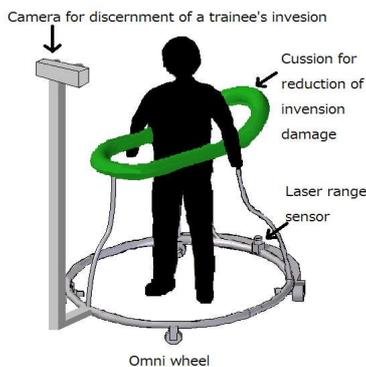


Fig. 1 Concept design

2. 頭部三次元座標取得プログラムの構成

訓練者の転倒を検出するには、頭部の位置変化量と加速度の変化が必要であると考えられる。それらを求めるためには、カメラを基準座標とした頭部の三次元位置検出が必要である。座標を取得する手順としては、カメラから取得してきた入力画像から Haar-like 特徴を用いた顔検出により訓練者の頭部位置を検出し特定する。検出した訓練者の顔領域から、画素値を取得しパーティクルフィルタによる追跡を行い、SGBM(Semi-Global Block Matching)アルゴリズムと呼ばれるステレオマッチング法を用いたステレオ視によって奥行き情報を取得することで、頭部の位置を三次元的に取得する。各手順で用いた方法についての詳細は以下の章にて説明する。作成したプログラムのフローチャートを以下の Fig.2 に示す。

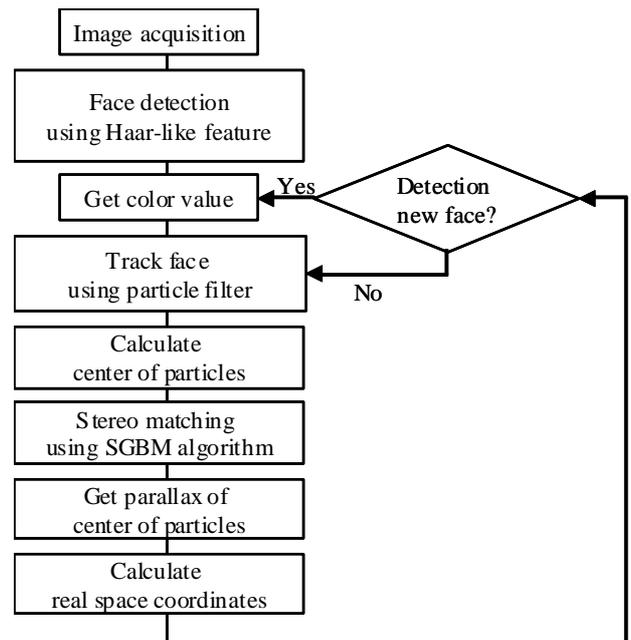


Fig. 2 Flow chart

### 3. 顔検出

入力画像から訓練者の頭部を特定する必要がある。その方法として、Haar-like特徴を用いた顔判別器による顔検出を行う[2]。この方法の特徴として、絶対的な明度値を利用しない、相対的な明度の変化量からエッジやコーナーを判定し、顔パターンに当てはめて判別するため、色による検出に比べ、照明変動にロバストである。以下の Fig.3 は顔検出を行った画像である。検出した顔領域に円を描くようにしてある。



Fig. 3 Face detection

### 4. パーティクルフィルタによる追従

顔検出は一般的に特定の姿勢に限定される。例えば正面顔の検出器は側面顔には対応できない。動画画像で各フレームに検出していたのでは、姿勢が変わってしまった時に検出ができず、頭部の座標値が取得できなくなる。そこでパーティクルフィルタというモンテカルロ法に基づいてシステムの状態を逐次推定し追従を行うアルゴリズムを用い、検出した顔領域の追従を行う。パーティクルフィルタはオブジェクトの色ヒストグラムを用いて追従を行うのが基本的な方法である[3]。しかし、頭部の画素値を予め設定してしまうと、個人差や照明変動により適切でない値になってしまうことが考えられる。適切な画素値を与えるために前節の顔検出を用いる。検出した顔領域中心の画素値を用いることにより上記問題点へのロバスト性を得る。以下の Fig.4 にパーティクルフィルタを実行した画像を示す。肌色部分を追従するように設定してある。顔が横を向いているため、顔検出はできていないが、パーティクルフィルタが肌色領域を追従することで、オブジェクトの特定ができています。



Fig. 4 Face follow using particle filters

### 5. ステレオ視による奥行き距離の算出

顔検出とパーティクルフィルタにより、頭部の検出と追従が可能となった。ここからカメラを基準とする実空間距離を算出し、三次元的な座標値を取得しなければならない。そこで奥行き距離を算出するために、ステレオカメラによるステレオ視を用いる。

#### 5-1. ステレオ視による距離算出法

ステレオ視について、奥行き距離の算出方法を述べる[4]。以下の Fig.5 にステレオ視の概略図を示す。対象物とまでの距離を  $Z$ [mm]とし、2つのカメラ間の距離を  $B$ [mm]とする。カメラの撮像面から基準点までの距離を  $f$  とすると、対象物までの距離は以下の式(1)で表される。

$$Z = \frac{Bf}{x_l - x_r} \quad (1)$$

ここで、 $x_l - x_r$  は視差と呼ばれる。 $B, f$  はカメラ固有の定数であるため、変動する値は視差のみとなる。

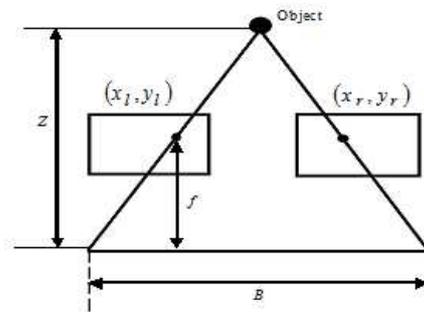


Fig. 5 Stereo view

#### 5-2. ステレオマッチング法

視差を取得してするために、左右の画像で対応点を走査し可視化するステレオマッチング法を行う。ステレオマッチング法にはいくつか種類があるが、今回は SGBM(Semi-Global Block Matching)アルゴリズム法を使用する。他の方法に比べ、処理速度と精度のバランスが取れているため、この方法を採用した。可視化すると、256階調のグレースケール画像を出力することができる。手前にあるものほど視差は大きくなり、画像は白くなる。顔検出とパーティクルフィルタで求めた一点の箇所の画素値を、可視化したステレオマッチング画像から取得してすることで、視差を求めることができる。この視差をもとに、ステレオカメラから頭部までの実空間距離を算出する。



Fig. 6 SGBM

## 6. まとめ

顔検出, パーティクルフィルタ, ステレオマッチングの3つを組み合わせることにより, 歩行状態における頭部の三次元座標を取得することができる. しかし, 現状の処理速度が約1[fps], 1秒間に1枚しか処理ができず, リアルタイム処理が不可能である. これはSGBMによるステレオマッチングによる計算量が膨大であるためだと考えられる. プログラムの精度を検証したいが, 1秒間に1枚しか画像を取得することができず, 頭部の移動距離がフレーム間で大きくなり, パーティクルフィルタでの追従が追いつかないという問題があり, 精度の検証も未だできていない.

考えられる解決策として, FPGA等を用いた, 処理のハードウェア化による処理時間のリアルタイム化が考えられる. 目標となる数値は一般的なビデオカメラのフレームレートである30[fps]が当面の目標値である.

## 参考文献

- (1) 平井, 野方, 歩行訓練のための無拘束サポートロボットの開発, 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 3K3-06, 2008.
- (2) 竹内, 伊東, 山下, 金子, 任意姿勢の顔検出とMean-Shiftトラッカによる複数視点人物追跡, 映像情報メディア学会技術報告 vol.33, no.11, pp.69-72, 2009.
- (3) 篠原雄介, パーティクルフィルタと物体追跡への応用, 日本ロボット学会誌, vol.29, no.5, pp.29-32, 2011.
- (4) 実吉敬二, ステレオカメラの基礎, ステレオ法による立体画像認識の基礎と車載カメラへの応用 pp.46-47, 2007.
- (5) 奈良先端科学技術大学院大学 OpenCVプログラミングブック制作チーム, OpenCVとは, OpenCVプログラミングブック, 1-1-5, pp.16-21, 2007.
- (6) 大明準治, 1000fps高速度画像処理のアクティブカメラへの応用, 日本ロボット学会誌, vol.23, no.3, pp.282-285, 2005.