

# ステレオカメラとIMUを用いたモーションキャプチャシステム

## Motion capture system with stereo camera and IMU

ベンチャー研究室 長谷川 秀真 Shuma Hasegawa

Motion capture (MC) is applied in various fields of research aiming human motion analysis. To enhance human-robot interaction, MC is expected for realization of robot's more natural movement and improvement in communication ability such as emotion recognition. In these researches, optical MC is most commonly used. It is able to perform highly accurate and real-time measurement. However, it requires costly equipment and large space for usage. In addition, since test subjects are required to wear a particular suit and reflective markers throughout their body, their movement may be obstructed. To overcome these weaknesses, we propose the new MC system by using a stereo camera and IMU.

**Key Words:** Stereo camera, IMU, Motion capture, Sensor fusion

### 1. 緒言

モーションキャプチャ(以降MC)は医療分野<sup>1)</sup>など様々な分野に利用されている。これらの用途には主に光学式MCが用いられている。光学式MCは高精度でリアルタイム計測が可能であるが、高価かつ大規模な設備が必要である。また、マーカを体中に取り付けるため、被験者の動作の妨げになる問題がある。そこで本研究では、ステレオカメラとIMUを融合し、単純かつ安価なMCシステムの構築を目的とする。ステレオカメラは2つのカメラが横に並んだカメラで、コンパクトでマーカレスという利点がある。しかし、計測対象がカメラの死角等に入ってしまう、正確に計測できなくなるという欠点(オクルージョン)がある。IMUは装着部位の3軸周りの角速度、角度と並進の3軸方向の加速度を検出する装置である。IMUにはオクルージョンが発生しないという利点があるが、装着個数の増加に伴い動作の妨げになってしまうという欠点がある<sup>3)</sup>。このような欠点を相互に補完できるMCシステムの構築を目指す。

先行研究では、光学式MCのデータを真値として軸合わせを行ない、ステレオカメラとIMUを用い、対象物の3軸方向の速度が計測可能となった。また、相関係数を用いることでオクルージョンの発生時間を判別することに成功した<sup>2)</sup>。本研究では、光学式MCを使用せず、ステレオカメラとIMUで独立した軸合わせを行なう。また、オクルージョン発生時にデータの急激な変化に対応し、滑らかに2つのデータを融合する手法を考案する。

### 2. 計算手法

#### 2.1 相関係数

ステレオカメラとIMUで得た計測結果の表のために相関係数を用いる。相関係数とは2組の数値からなるデータ列  $(x, y) = \{(x_i, y_i)\} (i=1, 2, \dots, n)$  が与えられたとき、式(2.1)によって-1から1の範囲で相関係数  $\rho_i$  が求められる。

$$\rho_i = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.1)$$

ただし  $\bar{x}, \bar{y}$  はそれぞれデータ  $x = \{x_i\}, y = \{y_i\}$  の相加平均である。 $\rho_i = 1$  の場合、2つのデータ  $x_i, y_i$  は正の相関を持ち、完全に相関しているといえる。 $\rho_i = -1$  の場合は負の相関を持ち、 $\rho_i = 0$  の場合は無相関という性質を持っている。

#### 2.2 重み付け

ステレオカメラから得た計測部位の速度データと、IMU センサから得た計測部位の速度データの融合を目指す。2つのデータを融合する際、単純な平均をとる方法がある。しかし本研究では、オクルージョンや誤検出などにより一方の計測機器の信頼性が欠けている場合が頻出する。よって単純な平均をとる手法は不適切である。そこで、重み付けを用いて2

つのデータを融合する手法を考案した。重み付けの手法について以下に述べる。

融合された速度データ  $V$  は、

$$V = \mu_1 V_{sc} + \mu_2 V_{imu} \quad (2.2)$$

と表される。 $V_{sc}$  はステレオカメラによって計測された速度、 $V_{imu}$  はIMU センサによって計測された速度、 $\mu_1$  と  $\mu_2$  は  $V_{sc}$ 、 $V_{imu}$  それぞれにかかる重み係数である。重み係数は、算出された相関係数に応じて場合分けを行い、 $\mu_1 + \mu_2 = 1$  となるように注意しながら決定する。これにより相関係数に応じて2つのデータを滑らかに融合することができる。

### 3. 実験方法

#### 3.1 実験 1-腕振り動作(オクルージョンなし)

本実験では、オクルージョンが発生しないような動作を行った。IMU が右手甲に装着された状態でステレオカメラの撮影範囲内に正面を向いて立つ。そして右腕を伸ばした状態で、Z 軸周りに3回、X 軸周りに3回振る。実験の様子を Fig. 1 に示す。

#### 3.2 実験 2-腕振り動作(オクルージョンあり)

本実験では、オクルージョンが発生する状況を作り出し実験を行った。IMU センサが右手甲に装着された状態でステレオカメラの撮影範囲内に撮影画面上の左方向を向いて立つ。そして右腕を伸ばした状態で Z 軸周りに振る動作を3回繰り返す。この際に、右腕が体に隠れてしまうことによる一時的なオクルージョンの発生を防ぐため、体に隠れる位置まで腕を戻すのではなく、右腕が体に隠れない位置まで戻す動作を行った。次に X 軸周りに振る動作を3回繰り返す。この際に右腕がカメラの死角に入りオクルージョンが発生する仕組みである。実験の様子を Fig. 2 に示す。



Fig. 1 Image of swinging motion, Z-axis (left), X-axis (right)

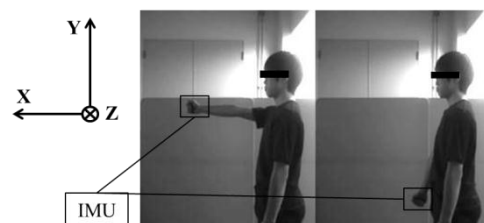


Fig. 2 Image of swinging motion with occlusion

## 4. 実験結果・考察

### 4.1 実験1の結果・考察

実験1のステレオカメラとIMUの相関係数の推移をFig.4に、フュージョン結果をFig.5に示す。本実験について、約15秒までがZ軸周り、それ以降がX軸周りの動作である。Z軸周りの動作中のX方向とY方向の速度に関しては、ばらつきがあるものの相関係数が1に近い値を多く算出しているため、動作に合った結果が得られている。しかしZ軸方向は精度よくトラッキングされていない。この原因としてはステレオカメラが奥行き方向の誤差が生じやすい構造になっているのに加え、速度を二次元の画像から算出しているため、トラッキングの精度に影響が出てしまったと考えられる。フュージョンには、式(2.2)を用いたフュージョン手法を施した。ステレオカメラの計測結果にはオクルージョンなどの誤検出が含まれるためIMUセンサ計測結果の重み係数を大きくする形で2つのデータを融合した。フュージョン結果については、IMUセンサによる誤検出の影響が多少出ているものの実験で行った動作に合ったフュージョン結果が得られた。

### 4.2 実験2の結果・考察

実験2のステレオカメラとIMUの相関係数の推移をFig.6に、フュージョン結果をFig.7に示す。本実験について、約9秒までがZ軸周り、それ以降がX軸周りの動作である。Z軸周りの動作中のX方向とY方向の速度に関しては、相関係数が1に近い値を多く算出しているため、実験で行った動作に合った結果が得られたといえる。しかしZ軸方向については相関係数にばらつきがあるため誤検出が頻発したことがわかる。この原因は実験1と同様と考えられる。X軸周りの動作に関しては、当然ながら相関係数にばらつきがあり、オクルージョンが発生していることがわかる。フュージョンには、実験1と同様に式(2.2)を用いたフュージョン手法を施した。この場合も同様にIMUセンサ計測結果の重み係数を大きくする形で2つのデータを融合した。それによって、オクルージョンが発生している際にもIMUセンサの計測結果に重みを置くことによってオクルージョンの影響を軽減できた。

## 5. 結言

今回の実験では、IMUセンサでの計測において角速度から速度の算出が可能となった。また、重み付けを用いたフュージョン手法を用いることで、ステレオカメラの計測結果にオクルージョンが発生してもその影響を抑え、2つの計測結果を融合することに成功した。

今後の展望としては、角速度から速度へ変換する際に腕の長さを用いるため、腕を伸ばした動作にしか対応していない。よって腕を曲げて行った動作の角速度からも速度を算出できる手法の考案が必要である。また、角速度と加速を併用することやIMUの軸あわせの方法を見直すことによっても計測結果の精度を向上させることができると考える。

### 参考文献

- 1) 重道温, 和田親宗, “加速度センサを用いた無拘束三次元足軌跡の計測の試み”, 信学技報, pp.49-54, 2007.
- 2) 榎本皓太, “センサフュージョンを用いたマーカレスモーションキャプチャ”, 東京農工大学大学院工学府修士学位論文, January, 2012.
- 3) 稲邑哲也, “ジャイロ式モーションキャプチャシステムとロボット研究への応用”, バイオメカニズム学会誌, Vol. 33(1), pp. 85-87, 2009.

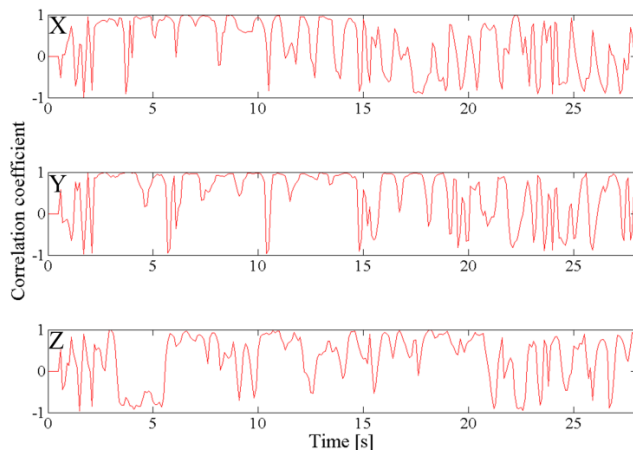


Fig. 4 Transition of correlation coefficient (experiment 1)

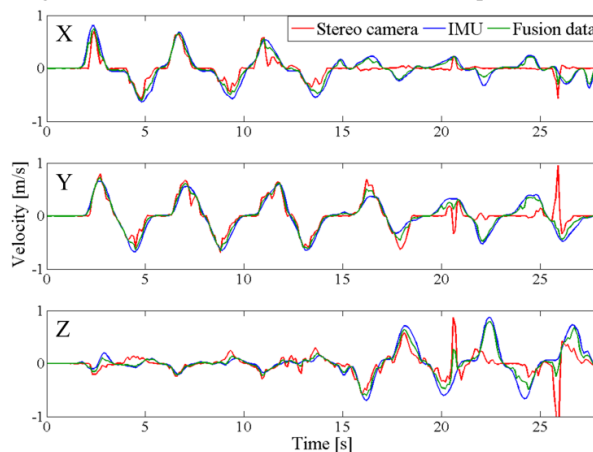


Fig. 5 Fusion data without occlusion (experiment 1)

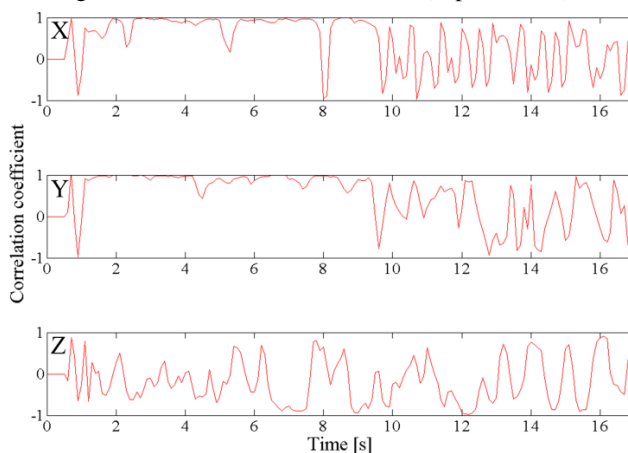


Fig. 6 Transition of correlation coefficient (experiment 2)

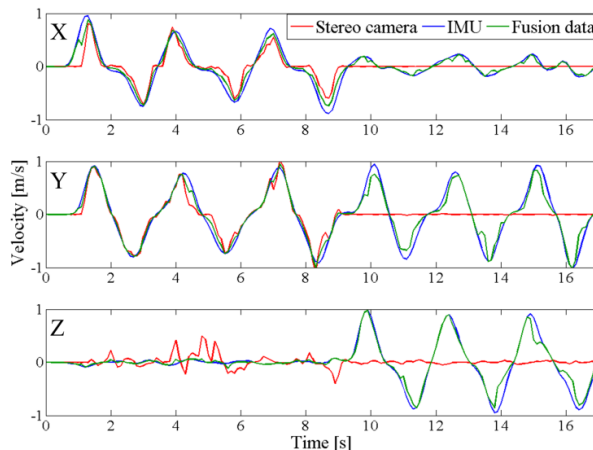


Fig. 7 Fusion data with occlusion (experiment 2)