

ウェアラブルカメラにおける映像安定化技術

Image Stabilization Technology Used in Wearable Camera

王 親 和 * 川井 大次郎 **
Qinhe Wang Daijiro Kawai

身体に装着するウェアラブルカメラにおいて、撮影された映像を安定化させるための ①カメラの動きを検出する技術、②検出結果を用いて映像を補正する技術について解説を行う。

This section explains two technologies used in a camera that is worn on the body or carried about to stabilize the video images. These are a technology to detect camera shaking and a technology to correct image shaking using the detection result.

1. 技術の概要

本技術解説は、現場証跡を目的としたウェアラブルカメラにおける映像安定化技術を解説する。

使用者の身体に装着し、意識せずに撮影するウェアラブルカメラの映像は、一般的なムービーカメラとは異なり、身体の動きにより激しく揺れるシーンが多く想定される。そのため、ウェアラブルカメラは次の2つの要素技術を用いて、これらのシーンで撮影された映像を安定化させる。

① モーションセンサによる動き検出

カメラを装着したときの姿勢（水平の傾き）も含め、使用者の歩行、走行、階段の昇降、方向転換（以降、ターンと呼ぶ）、停止などの動作により生じる複雑なカメラの動きを正確に検出する技術。

② 映像切り出しによる揺れ補正

検出結果を用いて、映像の揺れや傾きを広い範囲で補正する技術。

2. モーションセンサによる動き検出

カメラの動きを検出する主な手法として、画像処理を用いる手法とモーションセンサ（加速度センサやジャイロ、すなわち角速度センサ）を用いる手法がある。

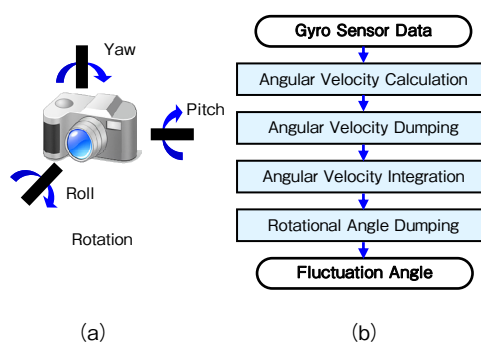
画像処理による動き検出は、フレーム間での画像の変化を探索し、カメラの動きを推定する手法である。しかし、被写体の移動や照明条件により推定の精度が低下することがある[1]。さらに、カメラの回転、激しい動きなどにより、フレーム間で画像が大きく変化する場合には、動き探索の演算量が増大し、リアルタイム性に課題もある。

一方、モーションセンサを用いると、被写体や照明条件によらず、リアルタイムで動きの検出が可能である。しかし、センサの温度変化によるドリフト（2.1節で後述）やターンなどの歩行条件の変化によりカメラの動きを正確に推定できないことがある。

筆者らは、モーションセンサから得られる信号に対して、誤差の累積や外乱成分を抑制する信号処理を開発することで、ウェアラブルカメラに必要な、リアルタイムで安定的な動き検出を実現した。

2.1 ジャイロセンサを用いた動き検出

カメラ映像の揺れにおいて、主に遠景の揺れはカメラの3軸回転（Roll, Yaw, Pitch）により生じるため、揺れ補正には、3軸の回転量を検出する必要がある（第1図（a））。そのため、ジャイロセンサを利用してカメラ各軸上の回転角速度を測定し、これらの角速度を積算することでカメラの回転量を推定する（第1図（b））。



第1図 ジャイロセンサを用いた揺れ検出処理
Fig. 1 Fluctuation detection process by gyro sensor

使用者の歩行や走行、階段昇降のような動作では、一般的に角速度の値は正負を繰り返す挙動を示し、積算することで、振動している動きを推定できる。しかし、使用者がターンするとき、角速度が一方方向に発生するため、角速度を積算した回転量が発散してしまい、補正（3章で後述）

* パナソニック システムネットワークス（株）
先行技術開発センター

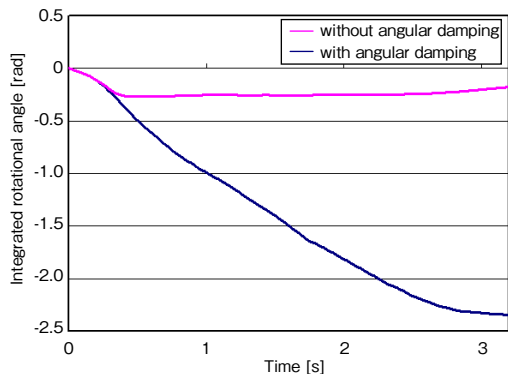
Advanced Technology Development Center,
Panasonic System Networks Co., Ltd.

** パナソニック システムネットワークス（株）
セキュリティシステム事業部
Security Systems Business Div.,
Panasonic System Networks Co., Ltd.

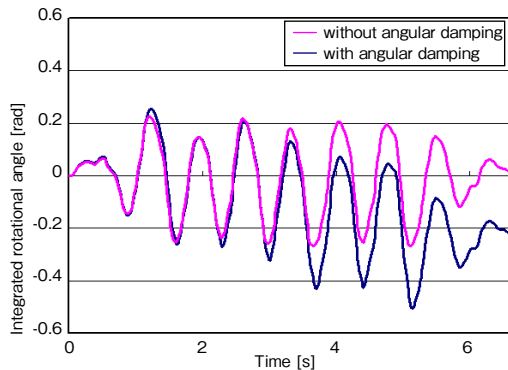
の限界を超えることがある。ターンは主として左右方向の回転であるから、Yaw軸の角速度が一方向に発生する場合はターン中と判断し、Yaw軸の回転量積算を抑制することで回転量の発散を防ぐ。

また、温度などの変化により、ジャイロセンサのバイアス値（静止状態のセンサ出力値）にずれ（以降、ドリフトと呼ぶ）が生じる。ドリフトは補正を行っても完全に除去することは難しく、このドリフトによる誤差は積算処理によって蓄積されるため、積算回転量が次第にゼロから離れて発散してしまう。この課題を解決するため、積算された回転量に減衰係数を乗じることで、回転量の発散を防ぐ。

胸部にウェアラブルカメラを固定した被験者が約0.8 rad/sの角速度でターンするときのYaw軸回転量積算例を第2図 (a) に示す。抑制処理なしの場合、ターン動作中に回転量積算値がマイナス方向に減少し続けるのに対し、抑制処理ありの場合、回転量が発散しない様子が見られる。また、被験者が約10 km/hの速度で走行するときのYaw軸回転量積算例を第2図 (b) に示す。減衰処理なしの場合、ドリフトなどによる誤差の蓄積により回転量積算値が原点から次第に離れてしまっているのに対し、減衰処理ありの場合、誤差の蓄積を抑制できていることがわかる。



(a) Angular integration in turning action



(b) Angular integration in running action

第2図 ターン検出と回転量減衰による積算発散防止

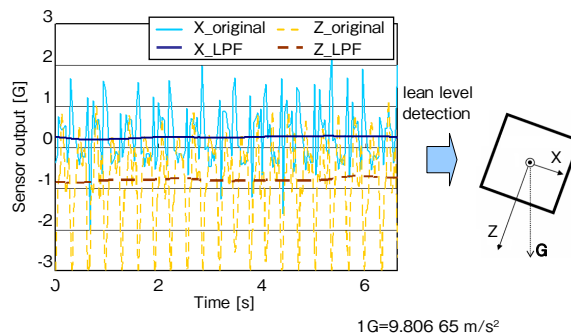
Fig. 2 Result of turn detection and rotational angle damping

2.2 加速度センサを用いた傾き検出

ウェアラブルカメラを身体に装着する際に、傾けて装着してしまうと、水平線が傾いてしまい、揺れを補正しても視覚的に違和感が残る。そのため、加速度センサを用いて重力加速度を検出することで、カメラ水平の傾きを推定し、水平が保たれるようにRoll軸の回転量を補正する。

しかし、カメラが動くと、その動きによる加速度の外乱信号が加わるため、重力加速度だけを分離して検出しなければならない。そこで、加速度センサの出力に対してローパスフィルタ (LPF) をかけることで、応答は約1 s遅くなるものの約0.6 Hz以下の重力（直流成分）が主な成分とみなせる加速度を検出することで、カメラの傾きを推定できる。

被験者が約10 km/hの速度で走行したときの加速度センサの出力とLPF処理した結果の一例を第3図に示す。図中のX軸はカメラの左右方向の軸、Z軸はカメラの上下方向の軸を表しており、X、Zの2軸の加速度から重力加速度Gを推定する。LPF処理することで、走行中であっても安定的にX軸、Z軸の加速度の直流成分が求められており、カメラの傾きを推定できることがわかる。

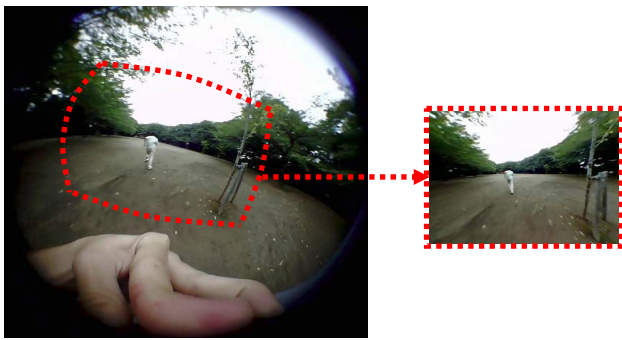


第3図 加速度センサを用いた傾き検出結果の一例

Fig. 3 Lean level detection by acceleration sensor

3. 映像切り出しによる揺れ補正

ウェアラブルカメラは、広角な魚眼レンズを用いて撮影した映像から、2章で述べた動き検出で得られたRoll, Yaw, Pitchの回転量および傾き検出の推定値に基づき、映像の一部を切り出すこと（電子式揺れ補正）により、広い範囲の揺れ補正が行える（第4図）。例えば、魚眼レンズの画角を180度とし、切り出しの画角を100度とすると、補正の角度は最大で±40度となる。

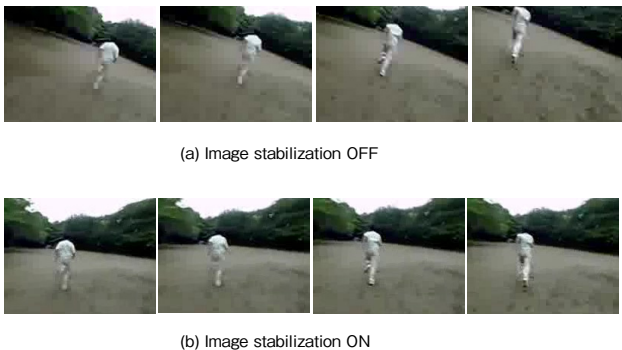


第4図 魚眼映像の切り出しによる動き補正
Fig. 4 Fluctuation correction by fisheye image trimming

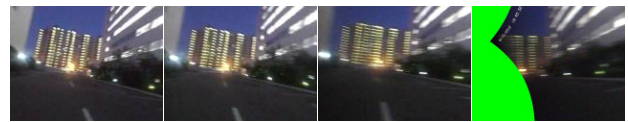
4. 実験結果

ウェアラブルカメラを被験者の胸部に固定し、約10 km/hの速度で走行する実験を行った。映像安定化の処理を無効（常に魚眼映像の中央を切り出し）とした場合と有効にした場合の連続4フレーム映像をそれぞれ第5図（a）、（b）に示す。この結果からモーションセンサによる映像安定化で良好な効果が得られていることがわかる。

また、被験者が約1.5 rad/sの角速度でターンする実験も行った。ターン検出による回転量発散抑制処理を無効とした場合と有効とした場合の連続4フレーム映像をそれぞれ第6図（a）、（b）に示す。ターン検出を行わない場合には、揺れ補正はターンの回転量を補正しようとすることで、補正範囲を超えてしまい、画像が出力できない領域（緑色）が発生している。一方、ターン検出を行った場合には、被験者がターンした方向に追従して映像を切り出しているため、違和感なく補正範囲内に収めることができる。この結果から、ターン検出の有効性が確認できる。



第5図 モーションセンサによる映像安定化の実験結果
Fig. 5 Result of image stabilization using motion sensor



(a) Angular damping OFF



(b) Angular damping ON

第6図 ターン時の回転量発散抑制の実験結果
Fig. 6 Result of rotational angle damping in turning action

5. 動向と展望

映像による証跡管理が必要となる市場において、小型モビリティカメラの需要は増大すると思われる。しかしながら、このようなカメラを使用者の身体に装着して撮影する際、映像の激しい揺れや大きな傾きが発生するため、既存の手振れ補正技術では対応できないという課題があった。

これらの課題に対して、筆者らは、モーションセンサの信号からカメラの動きを検出するときに生じる回転補正量の発散や傾き補正量の誤差を抑制できる動き検出技術と、広角な魚眼映像の切り出しによる揺れ補正技術を確立した。本技術を用いたウェアラブルカメラを使用することにより、意識せずに広い範囲を撮影しながら目的とする範囲の安定した証跡映像を得ることができる。

今後は、撮影部の高画素・高画質化に加え、モーションセンサと画像処理との連携による映像安定化の精度向上を図ることで、さらに良好な映像が得られることが期待できる。また、この技術を移動体セキュリティカメラなどに応用することにより、セキュリティカメラの高付加価値化、新規市場への展開が期待される。

参考文献

[1] Kenya Uomori et al., “Electronic image stabilization system for video cameras and VCRs”, SMPTE Journal, vol. 101, no. 2, pp. 66-75, 1992