

10. 撮影画像の時刻同期手法の開発

山本義幸

1. はじめに

動画は、エンターテインメントだけでなく、防災などの情報の保存においても重要なデータ形式の一つである。それは、動画画面上に表示される「空間」において、災害や異常箇所をリアルに表現し、それを保持（保存）できる点にある。このような利用で、その価値は、撮影された時刻を正確に取得して「時」と結合し「時空間」にすることで高められる。現在、2周波のGNSS受信システムを利用して道路空間情報を取得するMobile Mapping Systems (MMS) が活用されている。それでも、高価なうえ、備え付け以外のカメラをフレキシブルに取付けて時刻補正や測位を行える仕組みにはなっていない。

本研究は、動画の時刻補正に関して、撮影時に往復運動を利用したGNSSによる時刻補正手法を開発し、その実用性評価を行う。GNSS信号の受信については、低価格2周波GNSS受信機・アンテナを使用した。GNSSの測位方法は、携帯会社が提供する補正情報によるネットワーク型RTKを採用した。往復運動は、水平なレール上で周期的に発生させるために、撮影で使用されるカメラ用の電動スライダを使用した。実用性については、一つは、時刻補正精度を平均絶対誤差で評価した。もう一つは、走行中の撮影を想定した場合に、時刻補正の誤差に起因する水平位置の誤差の換算値が、国土地理院が定めた地図情報レベルの基準でどのレベルの許容範囲を満たせるかで評価した。

なお、本報告は、投稿論文¹⁾をとりまとめたものである。

2. 提案する時刻同期手法

本研究の提案手法は、図1に概略を示すとおり、GNSSアンテナとカメラを一緒に往復運動させ、それで得られる時系列データの波形ピークを補正のための目印として活用するものである。近年では、2周波GNSS受信機・アンテナも低価格・小型化され、またアクションカメラも高解像度化されていることから、本手法の適用性は高いものと考えられる。この提案手法において、GNSSアンテナで位置（すなわちカメラ位置）の時系列データが取得され、それより波形を作成する。なお、実施環境準備の時間・作業コストを軽減するため、1PPSは使用しない。一方、カメラからは、まず初めにフレームレートに応じて取得される画像（フレーム）群の動画として時系列データが取得される。これは、二次元の画像で構成された時系列データであるため、そのままでは横軸を時間軸とする波形を作成することはできない。そこで、動画からは画像上の特徴点位置を取得し、それを各フレームにわたって追跡し取得した時系列データから波形を作成した。これらで得られる波形で一致するピークを検出し、それを基に動画の各フレームの撮影時刻をGNSS時刻（UTC）に補正する。実利用においては、時刻補正を通じて、GNSSで時刻と同時に取得される位置情報から撮影場所をできるだけ正確に決定し、設計等に利用することを念頭においている。そのため、上述のとおり、どの地図情報レベルの許容誤差に収まるかについても評価する。

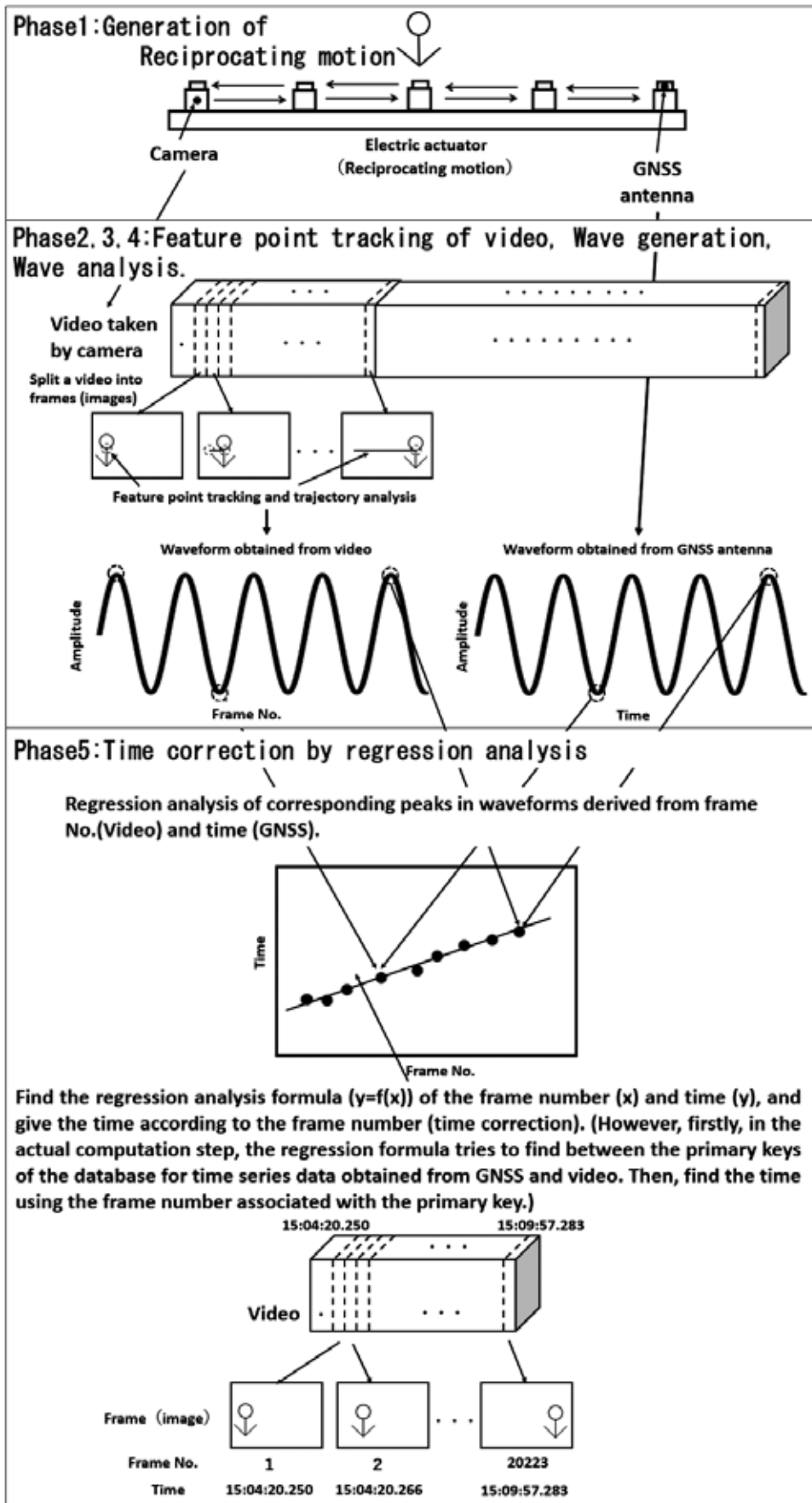


図1 本研究提案手法の5フェーズ

3. 実験の概要

3.1 現地実験手順

1. 上空視界が開けた場所を選定し、電動スライダを設置する。
2. 電動スライダにカメラとGNSSアンテナを取り付ける。
3. 補正情報を利用したネットワークRTKによるGNSS観測を開始する。
4. ネットワークRTKがfix状態になってから動画像の撮影を開始。
5. 時刻表示サイトをタブレットで2分間表示し、カメラで撮影する。
6. その後、電動スライダで5分間程度往復運動させる（始期往復運動時と称す）。
7. 電動スライダから取り外したカメラとGNSSアンテナ・受信機を車に取り付けて、道路走行を40分間程度実施する。
8. 車からカメラとGNSSアンテナ・受信機を取外し、それらを電動スライダに取り付けて、6と同様に往復運動を5分間程度実施する（終期往復運動時と称す）。
9. 再度、5と同様に時刻表示サイトを2分間程度撮影する。
10. 観測終了。

3.2 後処理

GNSS信号の処理は、取得されたNMEAデータからGPRMCセンテンスを抽出した。後述のとおり位置情報として利用したL2ノルムの欠測値は、欠測前後の値で線形補間した。動画像処理では、オープンソースのOpenCVを利用した。また、作業コストを下げるため、実験時に、往復運動時の大体の観測時刻を記録しておき、始期往復運動時と終期往復運動時を包含する時間帯のフレームを限定(抽出)して特徴点の抽出・追跡を行った。そして、各フレームで抽出した特徴点の座標を当該動画のフレーム番号を主キーとするデータベースでとりまとめ、これにて回帰分析を行った。

4. 実験結果

4.1 波形作成（GNSS-カメラ位置および動画像）

4.1.1 GNSS-カメラ位置

GNSS-カメラ位置からは、図2（始期往復運動時）のような波形が得られた。なお、図2の縦軸は、GNSS-カメラ位置のL2ノルムで、それを0～1に正規化したものである。これを見ると、波形のピーク位置に高周波成分が確認され、それがピークの決定に影響を与える可能性が考えられる。そこで、その影響を軽減するためにローパスフィルタ（LPF）を施した。LPFは、フーリエ変換で得る周波数領域のグラフから目視にてカットオフ周波数を仮決定した。それから逆フーリエ変換で時間領域のグラフ（波形）を再生し、その形状から適宜、カットオフ周波数を仮決定しなおすなどで適切なカットオフ周波数を最終決定した。LPFによって、図3のように滑らかな波形が描かれ、微小時間に発生する振幅の乱れを誤って検出する可能性は軽減された。図のとおり振幅は一定でなく、縦軸の正規化前の各振幅の長さを調べると、1～2cm程度の差異が見られ、固定した状態で実施した基礎実験で見られた程度のばらつきが確認された。これより、往復運動発生機構（電動スライダ）の振幅のぶれではなく、もともとのGNSS測位の誤差が振幅の差異を主に発生させていることが推察される。

4.1.2 動画像

動画像からは、図4（始期往復運動時）のような波形が得られた。なお、図の横軸は、主キーではなく、Indexとなっている。これは、計算コストを下げるために、往復運動期間中のフレームのみを抽出して処理したため、それでフレーム順を0から振りなおして処理したためである。なお、最終的な回帰分析の際には、主キーとIndexの関係から、主キーを使用して計算する。GNSS-カメラ位置と比較して、振幅にばらつきは見られなかった。図5がLPF後の波形である。なお、動画像からは複数の波形が得られており、ここでは一例を示す。始期往復運動時において動画からは17波形、終期往復運動時から25波形作成された。なお、この数は、特徴点の数と関係し、さらには、コーナー間のユークリッド距離と関係し、その設定次第で増減する。

4.2 波形分析（ピーク検出）結果

GNSS-カメラ位置と動画像から作成した波形において上述のとおり、機械的にピークを検出した（図3・図5（始期往復運動時）。赤点が検出したピーク（山）、青点が検出したピーク（谷））。その後、一致するピークを目視で確認した。図3と図5を比較すると、往復運動開始時、終了時付近において、GNSS-カメラ位置と動画像で検出されたピークに差が見られる。これは、そのあたりでGNSS-カメラ画像において比較的短い振幅が発生して、そこでピークを検出している。これについては、元の波形を見てもらうと分かる通り、まだ往復運動させていない時にGNSS-カメラ位置の測位結果が誤差に由来し高周波となり、そこがLPFでピークが明確な波形になったためである。よって、この特性のため、一致するピークは目視にて判断した。これに関する自動化は機械学習の活用を視野に今後の課題とした。本研究では、始期と終期往復運動時のGNSS-カメラ位置の波形の

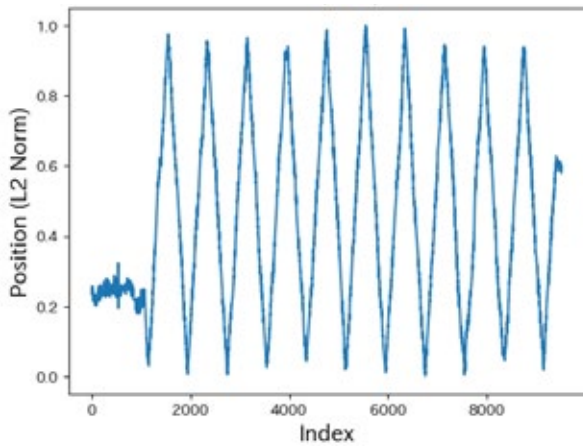


図2 波形：GNSS-カメラ位置（LPF前、始期往復運動時）

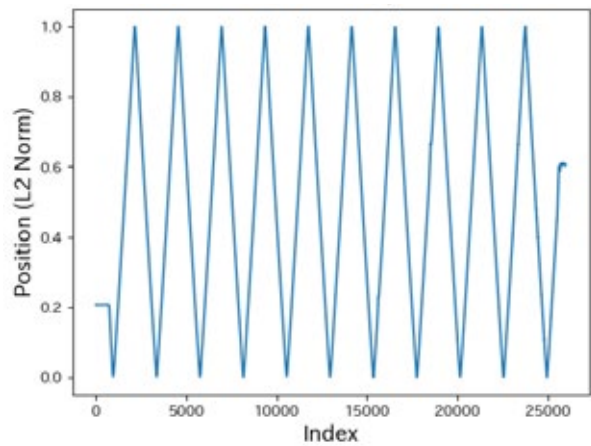


図4 波形：動画像（LPF前、始期往復運動時）

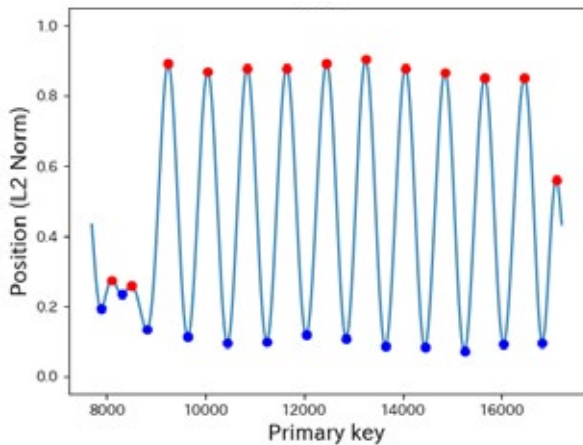


図3 波形：GNSS-カメラ位置（LPF後、始期往復運動時）

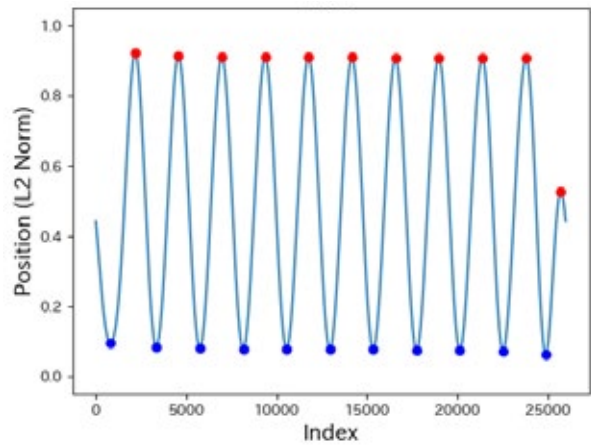


図5 波形：動画像（LPF後、始期往復運動時）

ピークと、それに一致する動画像の波形のピークペアデータを作成した。このピークペアデータそれぞれにおいて回帰分析を行う。なお、動画像から波形は複数作成されるので、始期と終期往復運動時から10個ずつ波形を選び、それらとGNSS-カメラ位置の波形で一致するピークペアデータセットを作成した。さらに、この始期と後期往復運動時のピークペアデータセットから1つずつ選び、それを統合したピークペアデータセットを10個作成した。このピークペアデータセットを両往復運動時のピークペアデータセットと称す。

4.3 時刻補正・性能評価

上記にて選んだGNSS-カメラ位置と動画像のピークペアデータの回帰分析を行い、時刻補正を行った。始期往復運動時、終期往復運動時、そして両往復運動時の3ケースそれぞれ10個ずつの回帰分析でいずれも決定係数は、1.00となった。時刻補正は、回帰分析で得た単回帰式を使用した。推定したフレームの撮影時刻と正解のフレームの撮影時刻との各ピークペアデータセット（1セット10個のピークペアデータ）ごとの平均絶対誤差を求めた。なお、正解のフレームの撮影時刻を求める際に使用した単回帰式の決定係数は1.00であった。結果として、両往復運動時の回帰式からは、平均絶対誤差が49msで最も推定精度が高く、先行研究²⁾と同程度になった（なお、動画撮影開始時は22ms、終了時は76msで、先行研究²⁾と同様に、終わりに向かって誤差が大きくなる傾向が見られた。）。

また、この時刻補正誤差は40km/h走行時では0.54m、60km/h走行時には0.81mの誤差を発生することが見積もられた。これは、地図情報レベル1000、2500の水平位置の標準偏差に収まることが確認された。これについては、例えば、走行して取得した動画像で道路の観測結果等において、現地に行って足元周辺の範囲内に当該位置を発見可能なレベルを示しており、単独測位で位置情報が付加される一般的なカメラよりも、より精緻な位置情報が得られることが示された。

5. むすび

本研究は、著者が提唱する時刻補正の方策の基本方針に則って提案した手法による動画像の時刻補正において、往復運動の活用の有効性の検証について取り組んだ。動画像の時刻補正に関して、カメラにGNSSアンテナを取り付け往復運動させる手法の適用性について検証した。その結果、本手法による時刻補正性能は、時刻推定としては観測の始まりと終わりの往復運動による補正処理を行うことで49msの平均絶対誤差となった。結果として先行研究²⁾と同程度であったが、適用性としては本研究の提案手法の方が高いため、本提案手法の有用性を確認することができた。また、一般道を走行しながら観測しても国土地理院によって示されている地図情報レベル1000（1/1000縮尺相当）や2500（1/2500縮尺相当）の水平位置の位置精度を満たす性能が示された。

謝辞

株式会社コア様には、GNSS受信機の使用法や観測データの扱い等についてご教示頂き、大変お世話になりました。ここに、謝意を表します。本研究はJSPS科研費 19K04657の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 山本義幸 (2023). 往復運動を利用したGNSSによる動画像の時刻補正, 測位航法学会論文誌, 14 (3), pp.15-25.
- 2) 梅原喜政, 山本雄平, 姜文淵, 寺口敏生, 田中成典, 佐藤衛 (2021). 人物計測のためのビデオカメラ間およびビデオカメラとGNSSの時刻同期に関する研究, 写真測量とリモートセンシング, 60巻, 3号, pp.129-143.