(56) 人物計測機器の時刻同期に関する基礎的研究

梅原　喜政[1]・山本　雄平[2]・姜　文渊[3]
寺口　敏生[4]・田中　成典[5]・佐藤　衛[6]

[1]正会員　関西大学特別任命助教　先端科学技術推進機構（〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35）
E-mail: y.umeha@kansai-u.ac.jp
[2]非会員　大阪工業大学講師　情報科学部（〒573-0171 大阪府枚方市北山1-79-1）
E-mail: yuhei.yamamoto@oit.ac.jp
[3]非会員　関西大学特別任命准教授　先端科学技術推進機構（〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35）
E-mail: b.kyo@kansai-u.ac.jp
[4]非会員　関西大学特別任命准教授　先端科学技術推進機構（〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35）
E-mail: t_terag@kansai-u.ac.jp
[5]正会員　関西大学教授　総合情報学部（〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1）
E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp
[6]非会員　関西大学大学院　総合情報学研究科（〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1）
E-mail: k353248@kansai-u.ac.jp

近年，建設現場において IoT 機器を用いた進捗管理や勤怠管理，健康管理技術が求められている．一般的には，建設現場にビデオカメラを設置し，中央管理センターから目視で確認することや，GNSS 機器を作業者に装着させることで計測したデータとビデオカメラの映像をシームレスに分析することで危険度判定を行うような方法が用いられる．しかし，多くの現場においては，複数のビデオカメラ間やビデオカメラと GNSS 端末間において正確に時刻同期されていないため，それらを同時にストレスなく確認することが難しい．そのため，現場に導入する場合には時刻同期の作業が必須となる．そこで，本研究では，ビデオカメラ間の時刻同期の方法について提案し，その方法の有用性について検討する．同時に，ビデオカメラと GNSS 端末間の時刻同期の必要性についても言及する．

Key Words: *IoT, multi-view videos, GNSS, time synchronization, image processing*

1.　はじめに

近年，建設現場において IoT（Internet of Things）機器を用いた人物追跡の必要性 [1]について議論されている．たとえば，施工現場の進捗管理や勤怠管理，それに加えて最近では熱中症に伴う健康管理のニーズが主流である．そのため，人物識別に加えて，作業中の歩様や歩容の状態から人物個々人の状況を把握することが求められている．その場合，通常では建設現場にビデオカメラを設置し，四六時中の映像を時折中央管理センターから目視で確認することや，GNSS（Global Navigation Satellite System）の機器を作業者に装着させることで計測データを取得し，シームレスなデータ分析と映像の再確認から危険度判定を行うような方法が取られる．しかし，多くの現場においては，有線のネットワークに接続された IoT 機器を設置することは難しい．そのため，複数地点からのビデオカメラからパケット単位の映像データが無線ネットワークを介して送られてくることになる．それは，各機器からのデータが統一されたタイムスタンプの情報で管理されていないことを意味する．したがって，ビデオカメラ間の時刻同期が正確に行われていないため，複数箇所からの映像を同時にストレスなく確認することが難しい．また，GNSS データとビデオカメラ映像においても，時刻同期の作業を介して状況確認する必要がある．これらの個々の機器がそれぞれ単独で動作している以上，現場に導入する場合には，時刻同期の作業が必須となる．そこで，本研究では，ビデオカメラ間の時刻同期の方法を提案し，その方法の有用性を検討する．同時に，ビデオカメラと GNSS 端末間の時刻同期の必要性にも言及することを目的とする．

2.　計測機器の時刻同期の必要性

建設現場において複数のビデオカメラを同期する既存研究[2]（**図-1**）では，4台のカメラを用いて作業状況を上

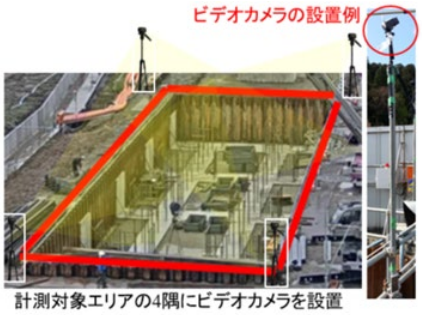

図-1　複数のビデオカメラを時刻同期する既存研究

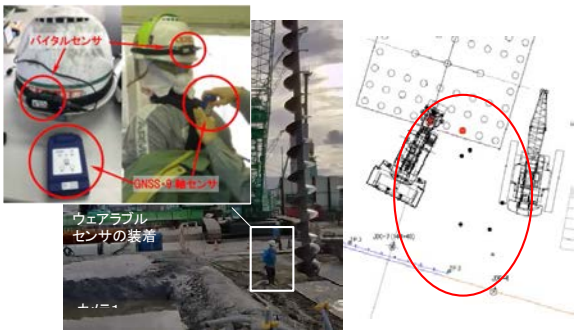

図-2　ビデオカメラと GNSS 端末を時刻同期する既存研究

方から撮影し，同期された映像から深層学習を用いて人物を識別することで，土木建設現場における作業者の安全管理を高度化している．また，ビデオカメラと GNSS 端末を同期する既存研究 [3]（**図-2**）では，現場の 2 カ所に設置したビデオカメラの映像を同時に表示し，複数の視点から作業現場の状況を把握すると同時に，作業員に GNSS と 9 軸加速度センサを組み合わせたウェアラブル端末とバイタルセンサを装着させ，これらのセンサから得られた計測データを時刻同期することで，各々の作業状態や作業負担を分析している．複数のセンサ間を時刻同期する既存研究 [4,5]には，UAV に搭載するレーザスキャナ，GNSS と IMU（Inertial Measurement Unit）の計測結果を高精度に同期する技術が実現しつつある．

そこで，複数のビデオカメラの時刻同期と，ビデオカメラと GNSS との時刻同期の方法と技術展開を整理する．

(1)　複数ビデオカメラの同期

複数のビデオカメラを時刻同期する技術は，土木建設現場だけでなく，交通量調査やスポーツ等の分野においても活用されている．

交通量調査の既存研究 [6]では，複数ビデオカメラの映像を同期することで，広範な交差点でのカメラ画角の補完やオクルージョンに対応した車両検出技術（**図-3**）の開発に取り組んでいる．スポーツ分野に活用した研究 [7]では，複数のビデオカメラの試合映像から選手を認識（**図-4**）し，位置関係を算出することで，戦術分析の高

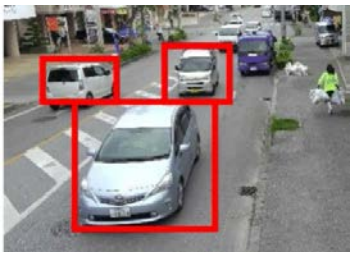

図-3　車両検出技術

図-4　試合映像から選手を認識

度化に寄与している．

以上から，複数のビデオカメラの同期は，様々な分野において基盤的かつ必要不可欠な処理である．しかし，複数ビデオカメラの時刻同期は，通常，操作タイミングのズレが生じるため，映像中の特徴点の変化を目視で確認し，手動でフレームのズレを微調整している．このため，複数のビデオカメラ間の時刻同期は，膨大な手間を要する課題がある．

(2)　ビデオカメラと GNSS との同期

ビデオカメラと GNSS の時刻を同期する技術は，建機を用いた安全性確保やスポーツ等の分野においても活用されている．

建機を用いた安全性確保の既存研究 [8,9]では，クレーンにビデオカメラ，GNSS やレーザスキャナを設置し，計測結果を同期して重畳表示（**図-5**）することで，クレーン周辺の安全管理を実現している．スポーツ分野に活用した研究 [10]では，GNSS から取得した選手位置と距離間を映像に重畳表示して可視化（**図-6**）することで，監督やコーチに新たな戦術分析の可能性を提供できている．

以上から，ビデオカメラと GNSS の同期は，様々な分野において基盤的かつ必要不可欠な処理である．しかし，ビデオカメラと GNSS の時刻同期は，通常，計測機器の内部時刻と GNSS 衛星の原子時計の時刻等を参考に手動

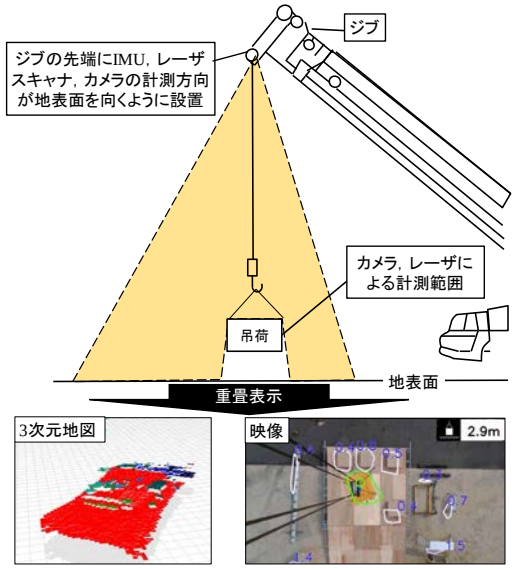

図-5　クレーンからの計測結果を時刻同期して重畳表示

図-6　選手の位置と距離間を映像に重畳表示して可視化

で行っている．このため，自動的な時刻同期の技術が求められる．

3.　ビデオカメラ間の時刻同期アルゴリズム

本研究では，ビデオカメラ間の時刻同期を自動的に行う方法を提案する．提案手法の処理フローを図-7 に示す．複数のビデオカメラで撮影された動画像とカラー映像の撮影時間を入力データとして「カラー映像表示機能」と「映像一致時点探索機能」の 2 機能を経て時刻同期された動画像を出力する．

(1)　カラー映像表示機能

本機能では，図-8 に示すように，3 秒間のカウントダウンの後，カラー映像を赤・青・黄・緑の順で 5 秒毎に表示する．そして，このカラー映像を撮影開始時と終了時に複数のビデオカメラで撮影する．なお，カラー映像が画面の中央となるように撮影する．

(2)　映像一致時点探索機能

本機能では，撮影開始時にカラー映像を撮影した複数

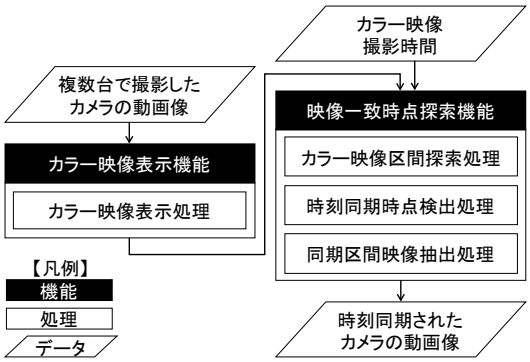

図-7　処理フロー

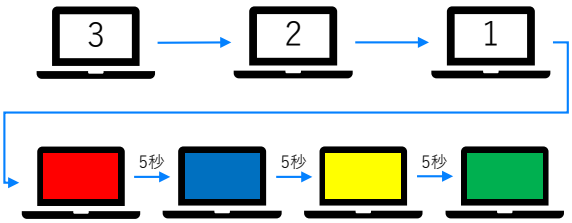

図-8　カラー映像表示機能

の動画像において，画面中央の RGB 値の変化量を検出し，カラー映像区間のフレーム番号を合わせることで時刻を同期する．まず，カラー映像区間探索処理では，入力されたカラー映像撮影時間に基づき，カラー映像が映っている区間を探索する．次に，時刻同期時点検出処理では，その区間内において画面中央の RGB 値の平均値から変化量を算出し，カラー映像の色の変化時点を時刻同期の開始時点と終了時点として同期時点を検出する．これらの処理を入力された動画像全てで実施する．最後に，同期区間映像抽出処理では，検出された色の変化時点が揃うように，開始時点と終了時点を全ての動画像で調整することで，複数のビデオカメラ間の自動的な時刻同期を実現する．

4.　実証実験

本研究では，市販のビデオカメラで撮影した動画像に提案手法を適用して時刻同期し，それらの撮影時間やフレーム数にどの程度の誤差が生じるかを確認することで，提案手法の有用性を明らかにする．

(1)　実験方法

本実験では，平坦な場所にカラー映像を表示するための PC と，それを撮影する 4K 画質のビデオカメラ 2 台を設置する．実験全体で約 2 時間撮影し，撮影開始時と終了時にカラー映像を画面の中心部に映るように撮影する．そして，時刻同期前後におけるカラー映像のフレーム数と 2 台の総フレーム数から，それぞれの差分を確認する．

表-1　撮影開始時と終了時のカラー映像のフレーム数

区分	カメラ番号	各フレーム数				150 フレームとの差分			
		赤	青	黄	緑	赤	青	黄	緑
開始時	A	149	150	151	151	−1	0	1	1
	B	149	150	150	151	−1	0	0	1
終了時	A	150	151	149	151	0	1	−1	1
	B	150	151	149	151	0	1	−1	1

表-2　時刻同期された動画像の撮影時間と総フレーム数

カメラ番号	撮影時間とその差分		総フレーム数とその差分	
	時間	差分	フレーム数	差分
A	2：00：35	0	216,833	−2
B	2：00：35	0	216,835	2

(2)　結果と考察

検証結果を表-1 と表-2 に示す．表-1 は，撮影開始，終了時においてカラー映像の各色を提案手法で捉えることができたフレーム数を示す．今回の検証で用いたビデオカメラは 30fps であるため，カラー映像の各色のフレーム数は 150 フレームである．そこで，提案手法で捉えた各色のフレーム数が適切であるか明らかにするため 150 フレームとの差分を確認している．表-2 は，提案手法により時刻同期された動画像の撮影時間と総フレーム数および，それらの差分を示している．

表-1 を確認すると，150 フレームとの誤差が±1 フレームの範囲に収まっており，それぞれの映像を目視で確認すると各色を含むフレームを精緻に捉えられていることが分かった．このことから，複数のビデオカメラ間における撮影開始と終了の時刻が同期できていると言える．

表-2 を確認すると，同期した映像全体のフレーム数の誤差が±2 フレーム程度に収まっていることから，映像のフレーム単位で高精度に時刻同期ができていると言える．したがって，提案手法は，従来の課題であった人手での手間を削減できていることが分かった．

5.　おわりに

国土交通省は，建設現場において作業全体の品質，生産性と安全性の向上やコスト縮減のため IoT 機器の導入について積極的に推進している．特に，建設作業員の安全・安心を担保するための方策については喫緊の課題である．そこで，筆者らは，市販されている IoT 機器を利活用するために最も重要である計測データの時刻同期について検討してきた．将来構想としては，この基礎的な成果を応用することで，カメラ間の同期に留まらず，カメラと GNSS の同期方法について提案し，開発することを目指す．今後，様々な機器を組み合わせて時刻同期することが一層求められると考える．

参考文献

1) 国土交通省：建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト公募要領，<https://www.mlit.go.jp/common/001243779.pdf>，（入手 2020.6.1）．
2) 今井龍一，神谷大介，井上晴可，田中成典，坂本一磨，藤井琢哉，菊池英一，伊藤誠：深層学習を用いた建設現場における人物識別に関する研究，土木学会論文集 F3（土木情報学），土木学会，Vol.75，No.2，pp.I_57-I_68，2020.
3) 国土交通省：建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト 試行内容（概要）の紹介，<https://www.mlit.go.jp/common/001259526.pdf>，（入手 2020.6.1）．
4) 田中成典，窪田諭，今井龍一，中村健二，山本雄平，寺口敏生，櫻井淳：レーザスキャナ搭載 UAV 開発のための点群データ計測の利用場面と解析・処理技術に関する調査研究，土木学会論文集 F3（土木情報学），土木学会，Vol.72，No.2，pp.II_82-II_89，2016.
5) 田中成典，窪田諭，今井龍一，中村健二，山本雄平，塚田義典，谷口寿俊，中原匡哉：土工の施工管理における UAV 搭載型レーザスキャナによる計測方法と計測誤差に関する研究，土木学会論文集 F3（土木情報学），土木学会，Vol.74，No.2，pp.II_125-II_135，2018.
6) 今井龍一，神谷大介，山本雄平，田中成典，中原匡哉，中畑光貴：汎用的な深層学習器を用いた交通量調査手法に関する基礎的研究，土木学会論文集 F3（土木情報学），土木学会，Vol.75，No.2，pp.I_150-I_159，2020.
7) 姜文渊，山本雄平，田中成典，中村健二，田中ちひろ：単視点多眼によるアメリカンフットボールプレイヤーの識別と位置特定に関する研究，写真測量とリモートセンシング，日本写真測量学会，Vol.57，No.5，pp.198-216，2018.
8) 窪田諭，田中成典，中村健二，山本雄平，中原匡哉，多田野有司，世俵秀樹，野口真児，小阪孝幸，石川巖，西本昌司：クレーン操縦者のための吊荷領域可視化システムの開発，電子情報通信学会論文誌 D，電子情報通信学会，Vol.J101‐D，No.1，pp.154‐171，2018.
9) 窪田諭，田中成典，中村健二，山本雄平，中原匡哉，中畑光貴，多田野有司，世俵秀樹，野口真児，小坂孝幸，石川巖，西本昌司：3 次元地図生成と地物認識によるクレーン操縦支援のための可視化システムに関する研究，知能と情報，日本知能情報ファジィ学会，Vol.32，No.1，pp.604-615，2020.
10) 姜文渊，山本雄平，中村健二，田中成典，田中ちひろ，政木英一，山田貴之，藤本雄一，鳴尾丈司：フィールドスポーツのための現場指向型可視化システムの研究開発，情報処理学会論文誌，情報処理学会，Vol.60，No.5，pp.1212-1227，2019.