

インテリジェント施工システムのための施工技術の開発

第二報：建設機械の走破性判定，転倒回避，任意視点映像生成，動作認識に関する研究

Development of Construction Technology for Intelligent Construction System
Second report: Research on Trafficability Judgement, Tumble Avoidance, Free Viewpoint Image Generation
and Action Recognition of Construction Machine

○ 筑紫彰太 (東大／近畿大)	ルイ笠原純ユネス (東大)	小松 廉 (東大)
山川博司 (東大)	谷島諒丞 (東大)	濱崎峻資 (東大／中央大)
正 永谷圭司 (東大)	パトハックサーサク (中央大)	正 藤井浩光 (千葉工大)
正 田村雄介 (東北大)	千葉拓史 (フジタ)	山本新吾 (フジタ)
茶山和博 (フジタ)	正 山下 淳 (東大)	正 浅間 一 (東大)

Shota Chikushi, The University of Tokyo/ Kindai University, chikushi@robot.t.u-tokyo.ac.jp

Jun Younes Louhi Kasahara, The University of Tokyo

Ren Komatsu, The University of Tokyo

Hiroshi Yamakawa, The University of Tokyo

Ryosuke Yajima, The University of Tokyo

Shunsuke Hamasaki, The University of Tokyo/ Chuo University

Keiji Nagatani, The University of Tokyo

Sarthak Pathak, Chuo University

Hiromitsu Fujii, Chiba Institute of Technology

Yusuke Tamura, Tohoku University

Takumi Chiba, Fujita Co., Ltd.

Shingo Yamamoto, Fujita Co., Ltd.

Kazuhiro Chayama, Fujita Co., Ltd.

Atsushi Yamashita, The University of Tokyo

Hajime Asama, The University of Tokyo

This paper introduces a research example in the Social Cooperation Program “Intelligent Construction System” organized by the University of Tokyo and Fujita Corporation. This includes trafficability judgement of construction machines at landslide disaster sites, tumble avoidance of construction machines while driving, and generate free viewpoint images when working with multiple construction machines for disaster response. In addition, this includes action recognition of construction machine to quantitatively assess work efficiency for general earthwork.

Key Words: Intelligent construction system, Unmanned construction machine, Disaster response

1 緒言

地震や噴火による土砂災害，大雨による河川の氾濫などの災害が発生した場合，迅速な応急復旧作業が必要となる．また，土砂災害や河川の氾濫などの災害が継続して起こりうる災害現場では，今後の災害発生時の被害を最小限にとどめるために，中長期的な本復旧作業が必要となる．しかし，そのような災害現場は，二次被害の危険性がある．そのため，遠隔操作型建設機械での応急復旧や本復旧作業を行う無人化施工に需要がある．加えて，近年では，少子高齢化による人手不足などの社会的背景から，一般土工事における施工現場の省力化・効率化が必要とされている．これらの背景から，迅速な災害対応，施工の省力化・効率化のために広く使える無人化技術の構築を目指し，東京大学と株式会社フジタによって，社会連携講座「インテリジェント施工システム」を組織した．本稿では，インテリジェント施工システムにおける研究事例として，災害対応を対象とした建設機械の走破性判定，建設機械の転倒回避，複数建設機械の任意視点映像生成，ならびに，一般土工事を対象とした建設機械の動作認識について述べる．

2 研究事例

2.1 建設機械の走破性判定

土砂崩れや河川の氾濫が発生した災害現場は，二次被害発生の危険性があるため，遠隔操作型建設機械による応急復旧作業が有効である．しかし，土砂崩れや河川の氾濫などが発生した災害現場は，土に含まれる水分量が非常に多く，建設機械が走行できない軟弱な地盤が存在する可能性がある．そこで，画像による非接触での建設機械の走破性判定手法を提案した [1–4]．本手法は，スペクトル画像を用いて，土の種類と土に含まれる水分量を推定することで，地盤強度を推定する．この地盤強度に基づき，図 1 に示すように，建設機械の走破性を判定する．

また，小型建設機械が実際に走行することで，地盤強度を推定，大型建設機械の走破性を判定する手法を提案した [5]．本手法は，上記で述べた，画像による非接触での建設機械の走破性判定手法で地盤表面付近を走破可能と判定した領域を小型建設機械が走行し，轍 (図 2)，ならびに振動を計測することで地盤表面付近よりも深い地盤内部の状態を考慮して大型建設機械の走破性を判定する．



(a) Judgment result (b) Driving on soft ground by construction machine

Fig.1: Trafficability judgement based on information near the surface of the ground [4]



Fig.2: Trafficability judgement based on underground information [5]

2.2 建設機械の転倒回避

遠隔操作型建設機械は、一般的な搭乗操作と比較して、建設機械の安定性を認識するための情報が不足していること、通信の遅延などから転倒する危険性が高い。転倒は、地形に対して、建設機械の重心が不安定な位置に存在するため生じる現象であり、転倒を回避するためには、重心が安定な位置に存在する必要がある。そこで、遠隔操作型建設機械の転倒回避手法を提案した [6]。本手法は、油圧ショベルのような作業機（ブーム、アームなど）を搭載した遠隔操作型建設機械を対象とし、動力学シミュレーションにおいて、建設機械の安定性を定量的に算出し、その結果に基づき、作業機の姿勢を制御することで、安定性を向上させ、転倒を回避する。

2.3 複数建設機械の任意視点映像提示

二次災害の危険性がある災害現場においては、遠隔操作型建設機械による災害復旧が有効である。遠隔操作型建設機械の一般的な作業は、建設機械に搭載したカメラの映像と、建設機械外部の環境中に設置した外部カメラの第三者視点映像に基づいて行われる。しかし、外部カメラの設置が困難な災害現場も存在する。そこで、建設機械に搭載したセンサ群情報を用いた第三者視点映像生成手法を提案した [7-9]。本手法は、油圧ショベルとダンプトラックによる土砂積載作業を対象として、油圧ショベルに搭載した LiDAR (Light detection and ranging)、魚眼カメラ、角度センサなどのセンサ群情報を統合することで、図 3 に示すように、油圧ショベルの作業機の姿勢、油圧ショベルとダンプトラックの相対的な位置姿勢を任意方向から提示可能な第三者視点映像を生成する。

また、映像提示のための要素技術に関する研究として、単眼カメラによる周囲環境の密な環境情報提示手法を提案した [10]。本手法は、単眼カメラで取得した複数画像から奥行方向の深度を推定することで、LiDAR などの点群データによる疎な周囲環境情報提示手法と比較して、密な周囲環境情報提示が可能である。

2.4 建設機械の動作認識

無人化施工や一般土工事における施工計画の立案、施工時間の管理、施工の効率化のためには、建設機械の動作内容（掘削、旋回、放土など）ならびに作業時間を定量的に把握する必要がある。



(a) Fixed image of external camera



(b) Free viewpoint image of the proposed method

Fig.3: Working with multiple construction machines [9]

そこで、時系列画像を用いた建設機械の動作認識手法を提案した [11-13]。本手法は、シミュレーション環境で生成した時系列画像を用いて学習を行い、学習モデルを生成、テストデータとして実環境で取得した時系列画像を入力することで建設機械の動作を認識する。

3 結言

本稿では、東京大学と株式会社フジタで組織した、社会連携講座「インテリジェント施工システム」における研究事例として、災害対応を対象とした、建設機械の走破性判定、建設機械の転倒回避、複数建設機械の任意視点映像生成、一般土工事を対象とした、建設機械の動作認識について述べた。今後は、迅速な災害対応、施工の省力化・効率化のために広く使える無人化技術の要素技術の研究開発を進めるとともに、本稿で述べた要素技術の実現場への適用を目指す。

参考文献

- [1] 山内 統広, 筑紫 彰太, 田村 雄介, 山川 博司, 永谷 圭司, 藤井 浩光, 坂井 郁也, 千葉 拓史, 山本 新吾, 茶山 和博, 山下 淳, 浅間 一, “ハイパースペクトル画像を用いた土壌の走破性の判定”, 第 25 回画像センシングシンポジウム講演論文集 (SSII2019), IS1-14, pp. 1-4, 2019.
- [2] Norihiro Yamauchi, Shota Chikushi, Yusuke Tamura, Hiroshi Yamakawa, Keiji Nagatani, Hiromitsu Fujii, Yuya Sakai, Takumi Chiba, Shingo Yamamoto, Kazuhiro Chayama, Atsushi Yamashita and Hajime Asama, “Estimation of Cone Index from Water Content and Soil Types Obtained from Hyperspectral Images”, Proceedings of the 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2019), pp. 999-1002, 2019.
- [3] 山内 統広, 筑紫 彰太, 田村 雄介, 山川 博司, 永谷 圭司, 藤井 浩光, 千葉 拓史, 山本 新吾, 茶山 和博, 山下 淳, 浅間 一, “スペクトル画像を用いた土の種類識別と含水比の推定に基づくコーン指数の推定”, 動的画像処理実用化ワークショップ 2020 講演論文集 (DIA2020), pp. 254-260, 2020.
- [4] 筑紫 彰太, 森山 湧志, 藤井 浩光, 田村 雄介, 山川 博司, 永谷 圭司, 坂井 郁也, 千葉 拓史, 山本 新吾, 茶山 和博, 山下 淳, 浅間 一, “遠隔操作オペレータの要求仕様に基づいたバックホウ盛土作業のための映像自動提示”, 精密工学会誌, Vol. 86, No. 2, pp. 164-170, 2020.

- [5] 日浦 愛子, 筑紫 彰太, ルイ笠原 純ユネス, 永谷 圭司, 千葉 拓史, 茶山 和博, 山下 淳, 浅間 一, “小型建機の走行による振動に基づいた地盤のコーン指数推定” 第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集 (SI2021), pp. 2265-2270, 2021.
- [6] 水野 秀哉, 筑紫 彰太, 藤井 浩光, 田村 雄介, 永谷 圭司, 山下 淳, 浅間 一, “遠隔操作ロボット走行時におけるアーム制御による転倒回避”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'19 講演論文集 (ROBOMECH2019), 2P1-B06, pp. 1-2, 2019.
- [7] Ren Komatsu, Hiromitsu Fujii, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita and Hajime Asama, “Free Viewpoint Image Generation System Using Fisheye Cameras and a Laser Rangefinder for Indoor Robot Teleoperation”, ROBOMECH Journal, Vol. 7, 15, pp. 1-10, 2020.
- [8] 菅沢 佑太, 筑紫 彰太, 小松 廉, ルイ笠原 純ユネス, Sarthak Pathak, 谷島 諒丞, 濱崎 峻資, 永谷 圭司, 千葉 拓史, 茶山 和博, 山下 淳, 浅間 一, “測域センサと魚眼カメラの統合による油圧ショベルの俯瞰映像内におけるダンブトラックの 3 次元モデルの提示”, 第 38 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 (RSJ2020), RSJ2020AC2C3-01, pp. 1-4, 2020.
- [9] Yuta Sugawara, Shota Chikushi, Ren Komatsu, Jun Younes Louhi Kasahara, Sarthak Pathak, Ryosuke Yajima, Shunsuke Hamasaki, Keiji Nagatani, Takumi Chiba, Kazuhiro Chayama, Atsushi Yamashita and Hajime Asama, “Visualization of Dump Truck and Excavator in Bird's-eye View by Fisheye Cameras and 3D Range Sensor”, Proceedings of the 16th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-16), pp. 480-491, 2021.
- [10] Ren Komatsu, Hiromitsu Fujii, Yusuke Tamura, Atsushi Yamashita and Hajime Asama, “Octave Deep Plane-sweeping Network: Reducing Spatial Redundancy for Learning-based Plane-sweeping Stereo”, IEEE Access, Vol. 7, pp. 150306-150317, 2019.
- [11] 沈 鎮赫, ルイ笠原 純ユネス, 筑紫 彰太, 山川 博司, 田村 雄介, 永谷 圭司, 千葉 拓史, 山本 新吾, 茶山 和博, 山下 淳, 浅間 一, “シミュレーションの訓練データを用いた深層学習による油圧ショベルの動作認識”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'20 講演論文集 (ROBOMECH2020), 2P2-A05, pp. 1-3, 2020.
- [12] Jinhyeok Sim, Jun Younes Louhi Kasahara, Shota Chikushi, Hiroshi Yamakawa, Yusuke Tamura, Keiji Nagatani, Takumi Chiba, Shingo Yamamoto, Kazuhiro Chayama, Atsushi Yamashita and Hajime Asama, “Action Recognition of Construction Machinery from Simulated Training Data Using Video Filters”, Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC2020), pp. 595-599, 2020.
- [13] ルイ笠原 純ユネス, 沈 鎮赫, 小松 廉, 筑紫 彰太, 永谷 圭司, 千葉 拓史, 山本 新吾, 茶山 和博, 山下 淳, 浅間 一, “シミュレータで作成された訓練データのデータ拡張による油圧ショベルの動作認識”, 精密工学会誌, Vol. 88, No. 2, pp. 162-167, 2022.