

予測画像による遠隔支援と遠隔操作建機の自動化について

鹿島建設(株) 正会員 ○浜本研一 三浦 悟
 芝浦工業大学 内村 裕
 電気通信大学 小木曾公尚 西山 悠
 JAXA 星野 健 若林幸子

1. はじめに

地上において人が立ち入れない場所での作業では、安全な位置から遠隔操作仕様の建設機械を動かす無人化施工システムが活用されているように、宇宙でも同様に人間が現場に常駐して作業することが難しいため、月や火星での有人拠点の建設は遠隔操作によって行われることが想定されている。しかし宇宙での拠点建設では地上との通信遅れがあるため、遠隔操作での作業効率の低さが懸念されている。

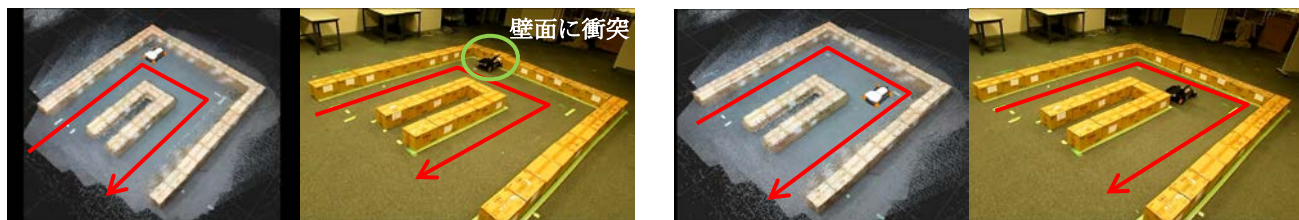
このような問題の解決に向けて作業効率を向上させるために、筆者らは遠隔操作と自動化施工システムを組み合わせる技術や時間遅れを考慮した制御技術の研究に取り組んでいる。研究開発で得られた成果により、宇宙（特に月面）での拠点建設が実現し、また地上でも生産性や安全性のより高い自動化施工システムが実現できることが期待される。

昨年度の報文¹⁾では宇宙と地上での提案システムに対する目標を示し、必要な機能の要素技術について紹介した。そこで本報文では、昨年度の報告で示した遠隔支援機能に関して行っている研究内容と 7t 級クローラダンプとバックホウの自動化の概要と遠隔支援機能を用いるためのモデル化に関する開発内容を報告する。

2. 予測画像による遠隔支援

月面拠点建設のように 3～8 秒の通信遅延がある場合でも、建設機械の操作性や安定性を損なわず作業計画に応じた遠隔操作を可能にする支援方法に関連して、本節では 2 つの研究結果を報告する。一つは遠隔操作者に建設機械の予測位置を提示し、かつ予測位置提示を考慮した遠隔操作制御系の構築法²⁾であり、もう一方は深層学習の動画予測³⁾を応用して、遠隔操作者に見せる予測画像を既存の画像から生成するニューラルネットワークの構成法⁴⁾である。

前者の制御系では、遠隔操作者の操作量と対象となる建設機械のモデルから、通信遅延に対応して対象の予測位置を計算し操作画面に提示する。例えば遅延が往復 6 秒の場合、3 秒後の予測位置を操作画面に提示し続けることで、遠隔操作者は負担なく操作を行うことができる。また遠隔側となる建設機械には適切なフィードバック補償器を実装することで外乱やモデル化誤差を吸収し遠隔操作への追従性を向上させている。実験として全方向に移動可能なロボットを用いて検証した結果を図-1に示す。ここでのタスクは赤矢印に沿って壁に衝突することなくロボットを遠隔操作することである。遅延補償なしの場合（同図 (a)）、左の操作画面には 3 秒前のロボットの位置が提示されているため、実際には壁に衝突しているにもかかわらず操作が続行され、この後は前方の壁を崩しながらロボットは動作してしまった。遅延補償ありの場合（同図 (b)）、操作画面に 3 秒後のロボットの予測位置が提示されているため、問題なく操作できタスクを達成した。



(a) 遅延補償なし(左:操作者画面 右:実映像)

(b) 遅延補償あり(左:操作者画面 右:実映像)

図-1 遅延画像を用いた遠隔操作支援（赤矢印：移動タスク）

キーワード 自動化, 自律遠隔施工, 遠隔支援, 予測画像提示, 予測画像生成

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6256

後者の深層ニューラルネットワーク (DNN) による予測画像の生成では、従来の研究手法である Predictive Coding Network (Prednet)³⁾ を応用している。学習に使える実験画像が少なくても、公開されている学習済みモデルを用いて転移学習を行うことで、予測精度の高い画像を生成することができた。図-2 は学習した DNN より生成された予測画像 (同図(下)) と実画像 (同図(上)) を比較したものである。左から 1 段先予測, 3 段先予測, 5 段先予測となっており, 段数が増えるにつれ画像は不鮮明になるが, 予測画像内でのロボットの位置はほぼ合っていることがわかる (学習した DNN はロボットの位置ではなく画像そのものを予測している)。

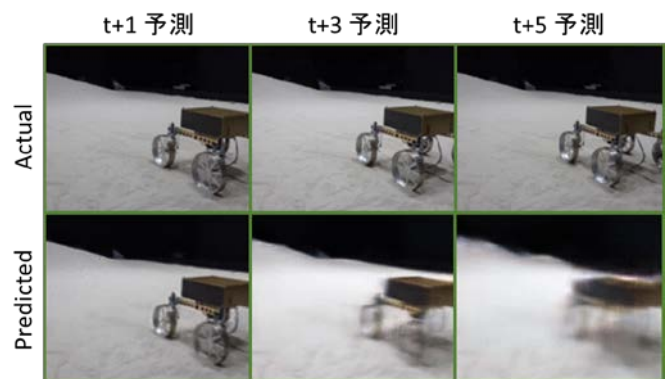


図-2 DNN による予測画像の生成
(上) 実画像 (下) 予測画像

3. クローラダンプとバックホウの自動化

昨年度に導入した遠隔化クローラダンプおよび遠隔化バックホウに対して, これまでに我々が行った自動化⁵⁾と同様に各種センサを装備した。これらのセンサと遠隔操作プロトコルを用いて自動走行機能を実装した (写真-1)。自動化したクローラダンプを用いて遠隔操作による走行性能計測を行った (図-3(上)) がレバー操作量, 図-3(下) はその時の走行軌跡。今後これらの入出力データを用いて, 前節で述べた遠隔支援機能の実装に必要となる走行モデルを作成し, 制御系を構築する。



写真-1 自動化したクローラダンプ

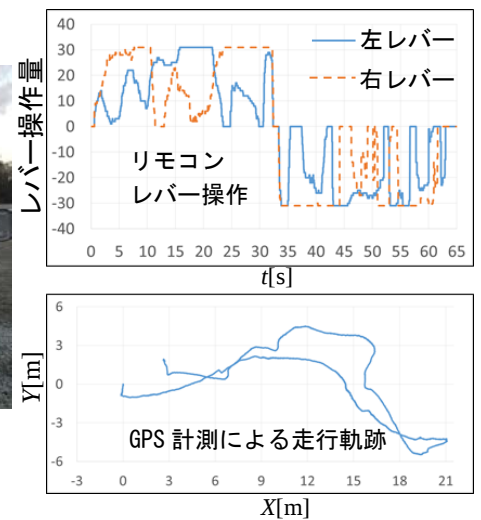


図-3 遠隔操作での走行性能計測
(上) レバー操作量 (下) 走行軌跡

4. おわりに

今年度には本報告で紹介した遠隔支援機能に, 別途研究開発を行っている動作判断機能や協調作業機能を統合して, 本報告で示した自動化建機を用いた自律遠隔施工実験を通じて月面拠点建設の実現性や地上での建設施工自動化の実用性を評価する予定である。

謝辞 本研究は, JST イノベーションハブ構築支援事業に基づく JAXA 宇宙探査イノベーションハブとの共同研究の成果の一部である。

参考文献

- 1) 浜本, 三浦, 星野, 若林, 須藤, 森本: 宇宙・地上利用を指向した自律制御協調型の遠隔施工システム, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, pp. 1391 - 1392(VI-696), 2017.
- 2) K. Kobayashi and Y. Uchimura; "Model based predictive control for a system with long time delay", IEEE International Workshop on Advanced Motion Control 2018 (AMC2018), pp. 581-586, (2018)
- 3) W. Lotter, G. Kreiman and D. Cox; "Deep Predictive Coding Networks for Video Prediction and Unsupervised Learning" ICLR 2017
- 4) 松尾, 西山, 小木曾, 稲垣, 浜本: Deep Learning を用いたオペレータへの予測画像提示による遅延補償; 第 5 回計測自動制御学会制御部門マルチシンポジウム, 2018
- 5) 田島ほか: 建設機械の自動化による自動化施工システムの開発—ダンプトラック運搬・荷下ろし作業の自動化とロックフィルダム工事への適用; 土木建設技術発表会 2017 概要集, pp. 128-132, 2017