第67回(2023年度)　北海道開発技術研究発表会論文

堤防除草における除草機械の運転自動化に向けた周囲監視装置の開発

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム　○山﨑　貴志
片野　浩司

北海道開発局では建設現場の生産性向上を実現するため、ICTを活用した堤防除草の生産性向上の取組（SMART-Grass）において除草機械の運転自動化を進めている。本件では、除草機械自動運転中の安全確認のため、除草機械の周囲を遠隔で監視するとともに、AI画像認識を利用して監視映像から障害物等の検出を行う装置を開発し、河川堤防で動作確認試験を行ったので、その概要を報告する。

キーワード：堤防除草、周囲監視、AI画像認識

1. はじめに

近年、建設業に限らず多くの業界において労働者の高齢化や労働者不足が深刻化している。このような背景から、北海道開発局では建設現場の生産性向上を実現するため、i-Constructionの取組の一環としてICTを活用した堤防除草の生産性向上の取組（SMART-Grass）を行っており、この中で除草機械の運転自動化を進めている。本件では、除草機械自動運転中の安全確認のため、除草機械に設置したカメラから取得する映像をトリミング等により監視しやすい画面表示として除草機械の周囲を遠隔で監視するとともに、AI画像認識を利用して監視映像から障害物等の物体検出を行い、遠隔で監視を行っている者に対して注意喚起を行うための画面表示をする装置を開発した。また、自動運転試験中の除草機械に本装置を搭載して石狩川河川堤防で動作確認試験を行った。

2. 装置の概要および機器構成

本装置は、除草機械の運転箇所とは離れた場所から自動運転中の除草機械の周囲を監視すること、および除草機械の進行方向にある障害物を検知することを目的としている。周囲監視や障害物検知は、カメラ映像からの物体検出により行うものとしている。また、本装置は導入のしやすさやコスト低減を考慮し、可能な限りシンプルな構成とすることを意識している。

本装置を設置した除草機械の全体像および本装置の除草機械への設置状況を**写真-1**に示す。



写真-1　除草機械および機器設置状況

本装置の機器構成を**図-1**に示す。タブレットPCはPanasonic TOUGHBOOK FZ-G2（CPU : Core i5 10310U）、魚眼カメラは株式会社ガゾウ USB2.0ボードカメラMCM-4350FISHとした。魚眼カメラは、前方撮影用と後方撮影用の2台を透明アクリルパイプ内に収納した状態で除草機械の上部に設置した。本装置は現時点では試験段階であり、除草機械の運転自動化のシステムとは独立して単独で機能するものとしているため、遠隔監視用の機器として、監視用PC、Wi-Fi親機、Wi-Fiアンテナを構成機器としているが、将来的には北海道開発局が進めている運転自動化のシステムに組み込むことも考えられる。この場合には、除草機械と操作者間の通信や電源を運転自動化のシステムと共用することにより、**図-1**の監視用PC、Wi-Fi親機、Wi-Fiアンテナの機器を不要とすることも可能と考えられる。さらには、カメラやタブレットPC（演算機器）の共用化の可能性も考えられ、この場合にはプログラムのみの構成とすることも可能となる。

YAMAZAKI Takashi, KATANO Kouji

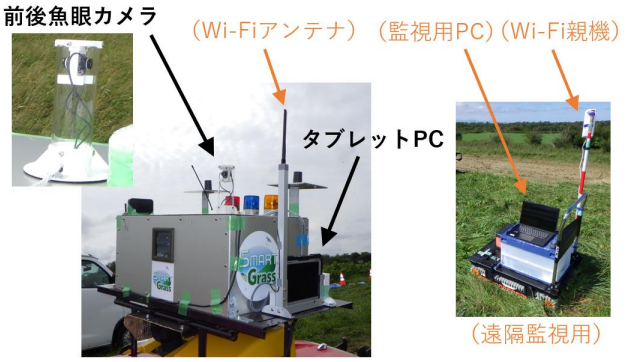


図-1　機器構成



図-3　映像配置

3.　機能

本装置の主な機能について以下に示す。

(1)　映像トリミングおよび配置

本装置では、導入のしやすさやコスト低減を考慮し、可能な限りシンプルで機器点数が少なくなるような構成とすることを意識している。このため、後述する前後の周囲監視用の映像と前後の障害物検知用の4つの映像の取得を4台のカメラからではなく、2台のカメラ映像からのトリミングで前記4つの映像を取得している。前後のカメラは、除草機械全周方向における広範囲な監視用映像を取得するため、画角の大きい魚眼カメラを使用している。

魚眼カメラ映像から、周囲監視用映像と障害物検知用映像をトリミングするイメージを**図-2**に示す。周囲監視用映像は、広範囲に周囲を見渡すには水平に見渡すのが感覚的に違和感がないと考え、後述する映像回転処理を行い地平線が表示画面上でおおむね水平になるようにトリミングしている。障害物検知用映像は、主に進行方向の地面に存在する障害物を検知するためのものであるため、映像回転処理は行っていない。このように取得した4つの映像を1つの画面で確認できるように、**図-3**に示すように配置して画面表示している。



図-2　映像トリミング

(2)　周囲監視用映像の回転

映像の回転を行う方法として、当初、タブレットPC搭載の加速度計から重力方向を算出し、重力方向を基準とした映像回転を行ったが、除草機械のエンジン始動とともに、安定した映像回転を行うことができなくなった（**写真-2**）。これは、エンジンの振動により発生する加速度がノイズとなり、重力方向の算出ができなくなったことが原因と考えられる。

このため、加速度計を用いない映像回転方法として、映像解析による映像回転方法を検討した。

カメラ映像の**図-4**に示す範囲の青色輝度値を左範囲（**図-4**赤色範囲）と右範囲（**図-4**紫色範囲）についてそれぞれ積算し、左範囲と右範囲の輝度積算値の差が小さくなるような角度で映像を回転させている。回転させる角度のステップは、細かくするほど計算量が増え映像遅延に影響するため、試験予定地の堤防法面勾配である左右5.7°と11.3°および水平の5ステップとした。青色輝度のみの積算とした理由は、映像の輝度要素（RGB、赤緑青）のうち、青空の青色や曇り空の白色に多く含まれ、逆に、地面の緑色や茶色には多く含まれない色要素であるためである。例えば、**図-4**の状況においては、（d）の状態が最も左範囲と右範囲の青色輝度積算値の差が小さくなるため、映像のトリミング範囲を**図-2**のように5.7°右回転させるようにしている。

このような映像回転方法とすることにより、加速度計の必要がなくなるため、システム構成の簡素化が図られるというメリットが生じる。



写真-2　映像回転不安定状況



図-4　青色輝度値積算範囲

(3)　物体検出

前記で作成した映像から、映像内に存在する障害物等の物体の検出を行う。検出にはオープンソースのAI物体検出アルゴリズムであるYOLOv8[1]を用いた。YOLOv8はAGPL-3.0[2]ライセンスであるため、YOLOv8を利用した制作物を配布する場合にはそのソースコードの公開義務が生じるなど、いくつかの制約があるが無料で利用することができる。

一般的にAI物体検出では、検出対象を特定するための教師データを用いて事前に学習させる必要があるが、YOLOv8では80種類の物体を検出する学習済みモデルが公開されているため、本装置ではこの学習済みモデルを使用した。この学習済みモデルでの検出対象となる80種類の分類を**表-1**に示す。また、YOLOv8では、ある分類として検出した物体がその分類である確かさを1～0で示す信頼度（1に近いほど確かさが高い）を取得できる。YOLOv8による物体検出の例を**図-5**に示す。

検出した物体を画面に表示するか表示しないかの閾値を信頼度とすることで、検出した物体の信頼度が設定した閾値よりも大きい物体のみを画面に表示することができる。このため、信頼度の設定値を低く設定することにより、上記80種類の分類以外のものであっても、「○○かもしれない」ものの検出を行うことができる。堤防除草における障害物にはさまざまのものがあり、なにが障害物となりうるかを特定できないため、一般的なAIの教師データを作成することは困難であるが、「○○かもしれない」ものの検出を行う方法により様々なものの検出を行えるようにしている。

表-1　YOLOv8学習済みモデルの検出対象分類

0: person	16: dog	32: sports ball	48: sandwich	64: mouse
1: bicycle	17: horse	33: kite	49: orange	65: remote
2: car	18: sheep	34: baseball bat	50: broccoli	66: keyboard
3: motorcycle	19: cow	35: baseball glove	51: carrot	67: cell phone
4: airplane	20: elephant	36: skateboard	52: hot dog	68: microwave
5: bus	21: bear	37: surfboard	53: pizza	69: oven
6: train	22: zebra	38: tennis racket	54: donut	70: toaster
7: truck	23: giraffe	39: bottle	55: cake	71: sink
8: boat	24: backpack	40: wine glass	56: chair	72: refrigerator
9: traffic light	25: umbrella	41: cup	57: couch	73: book
10: fire hydrant	26: handbag	42: fork	58: potted plant	74: clock
11: stop sign	27: tie	43: knife	59: bed	75: vase
12: parking meter	28: suitcase	44: spoon	60: dining table	76: scissors
13: bench	29: frisbee	45: bowl	61: toilet	77: teddy bear
14: bird	30: skis	46: banana	62: tv	78: hair drier
15: cat	31: snowboard	47: apple	63: laptop	79: toothbrush



図-5　YOLOv8による物体検出例

(4)　随時設定変更

本装置では、動作環境の違いや使用者の使用感の違いに対応できるよう、装置動作中においても、随時、いくつかの設定や調整をできるようにしている。

一つは、物体検出に使用する学習済みモデルの選択である。YOLOv8において公開されている学習済みモデルにはデータ量が大きい順に yolov8x, yolov8l, yolov8m, yolov8s, yolov8n の5段階あり、yolov8xが最も良い精度の検出を行うことができる反面、検出処理に係る計算量が多く処理に時間がかかる。反対に、yolov8nでは検出精度では他のモデルに劣る反面、検出処理に係る計算量が少なく、最も高速な処理が可能である。このため、大きなモデルを使用するほど表示画面はカクカク表示となるため、使用者の使用感や演算機器の性能に合わせて、使用するモデルを随時変更できるようにしている。

次に、検出物の画面表示有無の閾値となる信頼度の設定である。前述のとおり、閾値の設定により検出物の画面表示の量が変化するため、不要な検出が多い場合や逆に物体を検出しにくい場合など、現場状況に合わせ調整できるようにしている。

これらの設定や調整は監視用PCのキーボードからの遠隔操作で行っており、設定や調整した値は表示画面の下部（**図-5**下部、conf：信頼度、model：使用モデル）で確認できるようにしている。

4.　動作試験

北海道開発局が実施する運転自動化の試験に合わせて、本装置を除草機械に設置して、堤防除草中における動作試験を行った。試験は岩見沢市北村の石狩川たっぷ大橋

下流左岸の堤防において、令和5年9月11日～10月4日の内の5 日間実施した。本装置の設置状況を前出の**写真-1**に、試験状況を**写真-3**に、試験結果として得られた映像のキャプチャ画像を**図-6～8**に示す。

図-6では除草機械本体に設置しているGNSSアンテナを「飛行機」として、また、除草機械本体の一部分を「ボトル」として検出している。映像に映っている物体は何かとして検出される可能性があるので、実運用時には画角内に除草機械本体の部品等が入り込まないようにカメラを配置しなければならない。

図-7では人を馬やシマウマとして検出している。検出物体の種別を判断しなければならない状況ではこれらは間違った検出ではあるが、本件のような検出対象物が特定できない中で何らかの物体を検出して注意喚起したいという状況では、「物体検出」自体が有意義であると考える。また、**図-7**では地面とは色合いが異なる背丈の高い草が存在する状況であるが、草を何かの物体として検出しておらず、**図-7**以外の試験データにおいても、同様に検出したことはなかった。

図-8は信頼度の設定の違いによる画面表示の違いを比較したものである。左は信頼度0.1、右は信頼度0.4に設定したものであり、信頼度0.1の設定では表示されている車や除草機械が、信頼度0.4の設定では表示されていない。なお、信頼度0.1の設定で表示されている信頼度0.49の除草機械が信頼度0.4の設定で表示されていない理由は、これら2枚の画像は同一画像ではなく時間差のある別フレームの画像であるため、信頼度0.4の設定の画像では除草機械が信頼度0.4以下で検出されたことによるものと考えられる。この設定値は、低くしすぎると多くのものが表示されて画面が煩雑化し、高くしすぎると検出されるべきものが検出されにくくなることから、実運用時には使用現場の状況や使用者の使用感に応じて随時調整を行うべきと考える。



写真-3　試験状況



図-6　自車両部品の検出状況

使用モデルの違いによる画面表示速度の差について、ある15秒間における画面更新回数により比較を行った。yolov8sを使用した場合には1秒間に約2回の画面更新（約2FPS）、yolov8nを使用した場合には約3.4FPSとなり、モデルのデータ量が小さいyolov8nの方が処理速度が速く滑らかな画面表示となった。なお、画面表示速度は常に一定ではなく揺らぎがあったが、これは、PCや通信の状態等の影響によるものと考えられる。また、2FPSや3.4FPS程度の画面表示では滑らかな映像とは言い難いが、除草機械の作業速度は低速（試験段階では4～6km/h）であるため、周囲監視や障害物検知としては許容できるものと考える。



図-7　種別違い検出および草の未検出状況



（画面表示設定信頼度：0.1）　（画面表示設定信頼度：0.4）

図-8　信頼度設定値の違いによる画面表示の違い

5.　改良・改善予定

本装置ではカメラは除草機械の前後方向に向けて設置していることから、前後のカメラが出力する映像には太陽光による順光・逆光の影響の差が大きく表れ、特に太陽高度が低くなるほどその影響は大きくなる。**図-9**に、

前方カメラが逆光、後方カメラが順光の状況の例を示す。

前後カメラ映像の表示の明るさや色味の差は監視を行いにくくする原因となるため、前後カメラの露出補正を前後独立に行い、前後カメラ映像の表示の明るさや色味の差を小さくする補正を検討する予定である。補正の方法は、映像中の地面範囲における特定部分のRGB輝度値を積算して、前後カメラで輝度値の差が小さくなるように露出補正を行う方法とする予定である。

また、強い逆光の場合には露出補正だけでは効果的ではないと考え、前後カメラにおける画角上部（空の範囲でかつ画面表示に影響のない範囲）のマスキングを実施し、太陽光や明るい空の光がカメラに入り込むことを制限する予定である。



図-9　順光・逆光の状況

6. まとめ

除草機械自動運転中の安全確認のため、除草機械に設置したカメラから取得する映像をトリミング等により監視しやすい画面表示として除草機械の周囲を遠隔で監視するとともに、AI画像認識を利用して監視映像から障害物等の物体検出を行い、遠隔で監視を行っている者に対して注意喚起を行うための画面表示をする装置を開発した。本装置は構成機器が少なくシンプルであることを意識した結果、カメラや演算機器などを運転自動化の機器と共用とすることにより、本装置専用の機器を必要としない、プログラムのみの構成とすることも可能である。

本装置を自動運転時の除草機械に搭載して石狩川河川堤防において動作確認試験を行った結果、検出物体の分類特定は難しいものの様々な種類の物体を検出できる可能性があることがわかった。また、物体検出に係る設定や調整を随時行うことで使用感の向上が可能と考えられる。

本装置の改良点としては、撮影映像の逆光対策が必要であるため、今後実施する予定である。

参考文献

1) https:/github.com/ultralytics/ultralytics
2) GNU Affero General Public License v3.0、https://github.com/ultralytics/ultralytics/blob/main/LICENSE