

シールドトンネル坑内にいる人の画像認識技術に関する基礎的研究

(株)フジタ 正会員 ○磯崎 智史 山本 新吾

(株)システム計画研究所 平河 怜 西岡 拳 井上 由香

1. はじめに

わが国では少子高齢化による労働人口や熟練工の減少等から建設現場における生産性向上が求められており、施工機械の無人化や作業の負担軽減、安全性向上等を目指して様々な開発が進められている。シールド工事で資材運搬に使用されるバッテリー機関車もその1つである。筆者らは、Deep Learning を活用した画像認識技術を用いて坑内に立ち入る人を検出し、運転手に警報を発して機関車運行の安全性を向上させ、さらに他のセンサーと合わせてバッテリー機関車が徐行・停止等の運行制御を自動で行うことを目指し、開発を進めている。本稿はその前段として、実際のシールドトンネル坑内で実施した人の検出実験について、報告するものである。

2. 実験概要

実験は、シールド工事で一般的に使用される資材運搬用台車にカメラおよびパソコンを設置して、様々な条件の人を撮影すると同時に画像認識により人を検出した。台車は、シールドトンネル坑内において停止させた状態及びバッテリー機関車に連結して走行させた状態で実験を行った。

実験を行ったシールドトンネルの概要を表-1に、坑内断面の概要を図-1に示す。撮影に使用した機材を表-2および図-2に示す。

実験ケースを表-3に示す。人の立ち位置、姿勢、向き、坑内照明との位置関係を変えて実験を行った。人の立ち位置が線路内とは、図-1における左側の人の位置であり、坑内照明に近く、顔が風管の陰になる。立ち位置が線路脇とは、同じく右側の位置であり、坑内照明から遠い。

3. 画像認識による人検出

画像認識技術としては、CNN(Convolutional Neural Network)を用いた物体検出手法のうち、ネットワーク構造がシンプルで高速な処理が期待できるSSD(Single Shot Detector)¹⁾を使用することとした。7fpsで撮影した各フレーム画像に対して人検出を行い、評価を行った。誤検出や検出漏れがなく、正しく人を検出できたフレームの率(以降、人検出率と呼ぶ)を評価した。

キーワード 画像判定, 人検出, バッテリー機関車

連絡先 〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4-25-2 (株)フジタ TEL 03-3796-2298

表-1 シールドトンネル概要

セグメント種別	RCセグメント (二次覆工一体型)
トンネル内径	φ2,400mm
直線/曲線	直線
坑内照明の間隔	5m

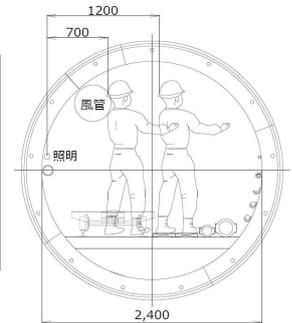


図-1 坑内断面 概要図

表-2 撮影機材

カメラ機種	BFLY-PGE-23S6C-C
レンズ仕様	固定焦点距離16mm
	絞り範囲F1.4~16
撮影フレームレート	7 fps
パソコン	GPU搭載ノートPC



図-2 使用機材

表-3 実験ケース

項目	内容	
人の立ち位置	線路内 線路脇	
人の姿勢	立位 座位	
人の向き	カメラに正対 背を向けて	
坑内照明と人の位置関係	照明の横 照明と照明の間	
停止実験	人とカメラの距離	7.5m 10.0m 12.5m 15.0m 17.5m
走行実験	人とカメラの距離	8~16m
	走行速度	2km/h 4km/h 6km/h

4. 実験結果および考察

4.1 停止実験

停止実験で得られた坑内照明と人との位置による人検出率の値を表-4に示す。線路内に立つ方が線路脇に立つよりも検出率が低い結果となった。坑内の照明は片側の壁面にのみ設置されており、坑内の左端と右端とでは明度の差が大きい。そのため、照明に近い線路上に立つと、図-3に示す例のように照明側の半身が白飛びして背景と同化し、人の輪郭が失われる。また人の頭部が風管の影になって黒潰れしている。これらの条件が重なった結果、線路上で人の検出率が低くなったと考えられる。

4.2 走行実験

走行実験の結果を表-5に示す。時速2km/hの走行では、カメラから人への距離が約12mの地点から人が検出された。一方、時速6km/hでは約9mの距離まで近づかないと人が検出されなかった。走行速度が速いと縦揺れ振動が発生してカメラも揺れるため画像にブレが生じる頻度が増す。そのため、走行速度が速いと人が検出可能となる距離が短くなると考えられる。

4.3 人検出の最適化

停止実験と走行実験の結果を踏まえ、走行中のバッテリー機関車から撮影した坑内画像に対する人検出精度を高めるための最適化を行った。走行実験で撮影されたブレ画像に対して、SSDと比較し人検出率がより高かったYOLOv3²⁾に人検出手法を変更し、また白飛びした画像に対する精度も高めた本件に特化した学習モデルを追加学習により生成した。表-5で人検出率の測定に使用した走行実験の画像データに対して、最適化後に人検出率を再測定した結果を表-6に示す。全ての走行速度で人が検出可能な距離が伸びる結果が得られた。

5. おわりに

以上の実験結果から、以下の知見が得られた。

- ① GPU内蔵のPCとDeep Learningを用いた物体検出手法により、シールドトンネル内の人の検出が可能である。
- ② 人検出の可否は走行中の揺れや坑内照明の影響を強く受ける。
- ③ 人検出をシールドトンネル内に特化させることで16m程度離れた人を検出できる可能性がある。

今回得られた知見をもとに、組込型コンピュータ (NVIDIA Jetson Xavier) にシステムを組み込み、別の現場での実証実験を行った(図-4)。今後、実験結果を解析し機会を得て報告を行いたい。

6. 参考文献

- 1) Wei, L. et al.: SSD: Single Shot MultiBox Detector, *arXiv:1512.02325*, 2016
- 2) Redmon, J. and Farhadi, A.: YOLOv3: An Incremental Improvement, *arXiv:1804.02767*, 2018



図-3 停止実験撮影画像の例

表-4 停止実験結果(照明の影響)

立ち位置	照明	坑内照明 と人との 距離	カメラから人までの距離		
			7.5m	10.0m	12.5m
線路内	横	1.0m	100%	0%	0%
線路脇	横	2.0m	100%	39%	3%
線路内	間	2.7m	100%	83%	0%
線路脇	間	3.2m	100%	84%	67%

表-5 走行実験結果

カメラから人までの距離	走行速度		
	2km/h	4km/h	6km/h
8m~10m	100%	100%	67%
10m~12m	93%	60%	0%
12m~14m	0%	0%	0%
14m~16m	0%	0%	0%

表-6 最適化後の人検出結果

カメラから人までの距離	走行速度		
	2km/h	4km/h	6km/h
8m~10m	100%	100%	67%
10m~12m	100%	100%	100%
12m~14m	100%	100%	100%
14m~16m	100%	93%	80%



図-4 組込型コンピュータ搭載検知システムによる実証実験