

バッテリー機関車自動運転システムの開発

東日本高速道路(株) 佐藤龍利 櫻井和人 佐々木忍 高間孝一郎  
鹿島建設(株) 正会員 ○佐藤卓哉  
鹿島建設(株) 高橋公城 西崎 康 福井崇史  
(株)ZMP 瀬川正樹 渡邊龍人

1. はじめに

これまでのバッテリー機関車の自動運転は、搭載した障害物センサーの検出範囲が6~20m程度と狭いため、運搬重量や走行速度に制限が必要であった。またバッテリー機関車は、常時無線にて、上流側の制御装置と通信を行い、軌条上に設置されたタグから位置情報を取得し、タグからタグへの走行を行う。つまり、これまでの自動運転は走行条件が限定され、さらに坑内全線に無線装置が必要であるため、コストが高かった。

今回開発する自動運転システムは、障害物センサーとしてステレオカメラを使用することで中距離先（50m程度）の人・障害物等を検出し、深層学習により人・遮断機・標識等を認識することで、その時々々の現場環境に合わせた自動運転が可能となる。本論文は、その開発の途中経過を報告する。

2. 適用工事・機能目標

適用工事は、関越道から東名高速道路まで延伸される東京外かく環状道路のうち、世田谷区大蔵の東名高速道路と野川の交差点から武蔵野市吉祥寺南町の井の頭通りまでの本線トンネルを、泥土圧シールド工法により築造するものである。工事の特徴は、大断面（外径 16.1m）かつ長距離（9km）の高速掘進（日進約 30m）と同時に、床版・横連絡坑を施工することである。今回自動運転の対象としているのはセグメントを運搬するバッテリー機関車（写真-1）で、坑口から切羽を走行する。走行路には次の二点の特徴がある。



写真-1 バッテリー機関車

表-1 機能目標

- ① 複線でポイントでの切り替えがあり、ポイントの切り替え状況、進行の可否を認識する必要がある。
- ② 日々の掘進により、走行距離が長くなる。また走行経路途中で床版設置を行っているため、一時停止位置、徐行範囲が変わるなど走行環境が変化する。

このような現場条件を満たしつつ、一般的なシールド工事にも対応可能な自動運転システムを開発するために検出・認識項目とその機能目標を表-1のように定めた。機能目標の根拠となる走行条件は、バッテリー機関車の最高速度が 11km/min、セグメント積載時の制動距離は 32mである。

| 区 分 | 対 象        | 検出・認識 目標距離 |       |
|-----|------------|------------|-------|
|     |            | 最短(m)      | 最長(m) |
| 検 出 | 障 害 物      | 0.2        | 50.0  |
|     | レ ー ル      | 4.2        | 50.0  |
|     | ポ イ ント     | 4.2        | 50.0  |
|     | 建 築 限 界    | 4.2        | 50.0  |
| 認 識 | 信 号 機      | 6.0        | 50.0  |
|     | 人          | 1.5        | 50.0  |
|     | 遮 断 機      | 2.5        | 50.0  |
| 位 置 | 標 識        | 6.5        | 50.0  |
|     | 自己位置認識     | 位置精度       | PLC準拠 |
|     | ポイント左右分岐認識 | 認識率        | 100%  |

3. システム概要

検出機能のハードウェアは、広範囲かつ遠方の画像を取得するための広角レンズと遠方レンズを使用した 4 眼型のステレオカメラを採用した。またステレオカメラによる障害物検出のフェイルセーフとして光を用いてセンシングを行う LIDAR も装備し、進行方向、複線のどちらを走行しているかを把握するために、加速度を検出する IMU を搭載した。認識機能のソフトウェアは、ステレオカメラと LIDAR 等から入力されたデータにより、障害物検出や信号・人・遮断機・標識認識を行う。判断機能のソフトウェアは、検出のハードウェアと認識のソフトウェアの結果から、通常走行を継続、徐行、もしくは停止すべきかを判断する。また、判断機能では後述の建築限界範囲や検出・認識したときの徐行のタイミング等のパラメータを実運用時に変更できる仕様とした。これら検出・認識機

キーワード 大断面シールド, 長距離, 大深度, バッテリー機関車, 自動運転, ステレオカメラ, 深層学習

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 KT ビル 鹿島建設(株)東京土木支店土木部 TEL03-6838-2284

能と判断機能を統合して処理を行うハードウェアとしての制御ユニット ECU を装備する。この ECU は、バッテリー機関車の制御装置である PLC に、人を認識した時にバッテリー機関車が走っていることを警告するための情報と、速度の加減速・停止・急停止等の状態を出力する。システム構成を図-1、システムフローを図-2 に示す。

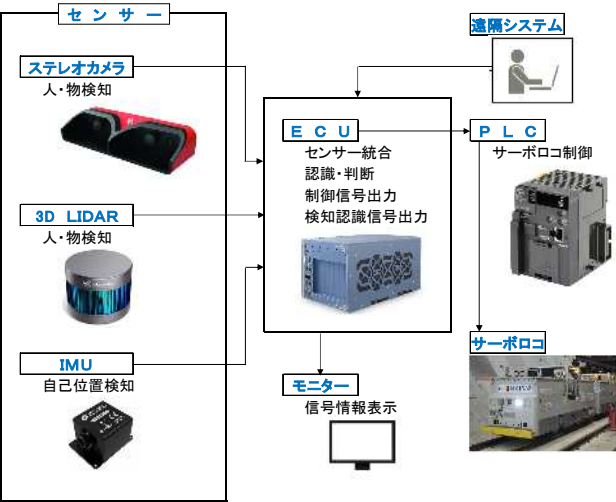


図-1 システム構成

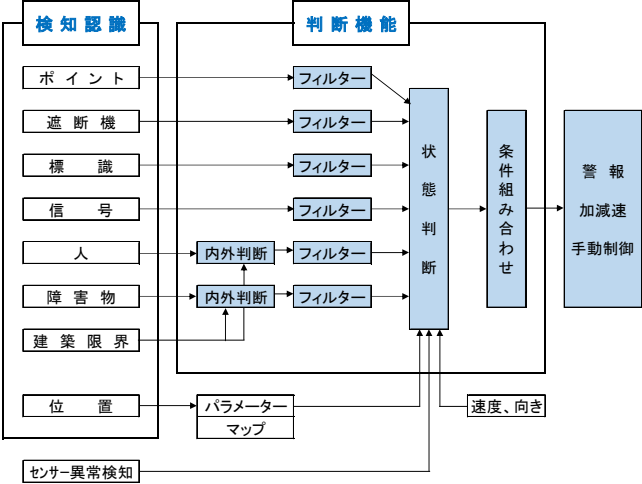


図-2 システムフロー

4. 開発実績

検出したレールより、障害物の衝突しない範囲である建築限界を推定し、障害物の内外判定を行った。建築限界のイメージ図を図-3 に示す。赤枠がレールを検出し、推定した建築限界範囲である。

人・遮断機・標識の認識は、深層学習を用いて行った。人の認識では、作業服 20 種類以上、姿勢 3 種類、ステレオカメラからの距離 3 パターンの動画を取得し、深層学習、解析を行った。本工事の実運用実験で取得したデータの中で人認識した場面を写真-2 と写真-3 に示す。この場面では、人が横姿や後ろ姿、しゃがみ姿など様々な姿勢で動作していたが、100%認識することができた。信号認識は、自動車で利用されている手法を取り入れた。

各項目の検出・認識可能距離を表-2 に示す。レール・ポイントの検出距離が一部目標に届いていないため、明度の変化部分を抽出し、アルゴリズムの改良等、改善を行っている。

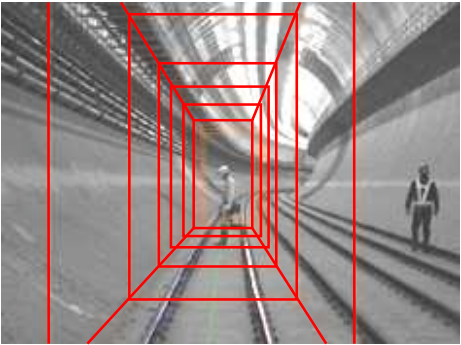


図-3 建築限界イメージ



写真-2 後ろ姿認識写真



写真-3 しゃがみ姿人認識写真

表-2 検出・認識可能距離

| 区分 | 対象         | 検出・認識 可能距離 |       |
|----|------------|------------|-------|
|    |            | 最短(m)      | 最長(m) |
| 検出 | 障害物        | 対象による      | 対象による |
|    | レール        | 8.0        | 38.0  |
|    | ポイント       | 8.0        | 28.0  |
|    | 建築限界       | 8.0        | 38.0  |
| 認識 | 信号機        | 15.0       | 45.0  |
|    | 人          | 0.5        | 68.0  |
|    | 遮断機        | 1.5        | 44.0  |
|    | 標識         | 5.4        | 60.0  |
| 位置 | 自己位置認識     | 位置精度       | PLC準拠 |
|    | ポイント左右分岐認識 | 認識率        | 100%  |

5. おわりに

バッテリー機関車の自動化において課題であった人・障害物の建築限界内外判定と信号・人・遮断機・標識の検出・認識機能の動作確認ができた。ただし、認識機能の処理速度が目標の 3 倍かかっているため、各機能の統合・処理の最適化を現在実施している。今後、システムを搭載して、人を乗せた状態での自動運転を行い、システム評価、フィルターのパラメータ調整、バッテリー機関車の PLC への出力速度確認後、無人で自動運転を行う予定である。将来的には、トンネル工事現場で標準的に採用させるシステムとしたい。