

前方監視システム

Forward Monitoring System

*伊丹製作所

要 旨

近年、労働者人口の減少によって、物流や鉄道をはじめとする交通機関の運転手不足が社会的課題になっている中、安心・安全な自動運転の実現に向けた技術開発が進んでいる。鉄道車両は自動車に比べて質量が大きく、最大制動距離が600mに達する場合がある。このため、従来の自動車向けセンサー(LiDAR(Light Detection And Ranging)、ミリ波レーダー等)では検知距離が不足し、前方監視の実用化が困難であった。

今回、最大600m先の人物及び障害物を検知可能な長距離LiDARと可視カメラを統合した前方監視システムを開発した。このシステムは、鉄道車両の自動運転のほか、鉄道の沿線・高速道路での障害物検知などへの活用が期待できる。

1. ま え が き⁽¹⁾

本稿で扱う前方監視システムは、車両進行方向の人物・車両・その他障害物を早期に検知し、危険予測・速度制御・緊急制動などを支援する。その要件は鉄道や道路などの運用環境、最高運行速度、制動距離、気象条件に依存する。特に鉄道車両では制動距離が最大で600mに達するため、長距離検出能力及び高い信頼性が求められる。

この開発では、最大600m先の人物・障害物を検知可能な長距離LiDARと可視カメラを併用し、ガルバノ走査等による視野角の可変化を導入することで、長距離での高精度検出と実運用性の両立を図った。

2. 前方監視システム

このシステムは、近距離・長距離カメラと長距離LiDARの検出スコアを時間同期して統合し、各センサーの特性を活用するフュージョン処理によって検出精度と耐環境性を向上させている。

2.1 システム構成

このシステムでは、長距離LiDARの点群を基にLiDAR制御部で物体検出を行い、検出位置・サイズ・信頼度を前方監視制御装置のフュージョン処理部へ送信する。近距離カメラ及び長距離カメラも同様に、それぞれの検出結果(検出位置・サイズ・信頼度)をフュージョン処理部へ送信する。センサーフュージョン部は、各センサーの検出特性を考慮して全検出結果を統合的に評価し、確定した認知結果を認知インターフェースを介してATO(Automatic Train Operation)等の上位装置へ通知する(図1)。

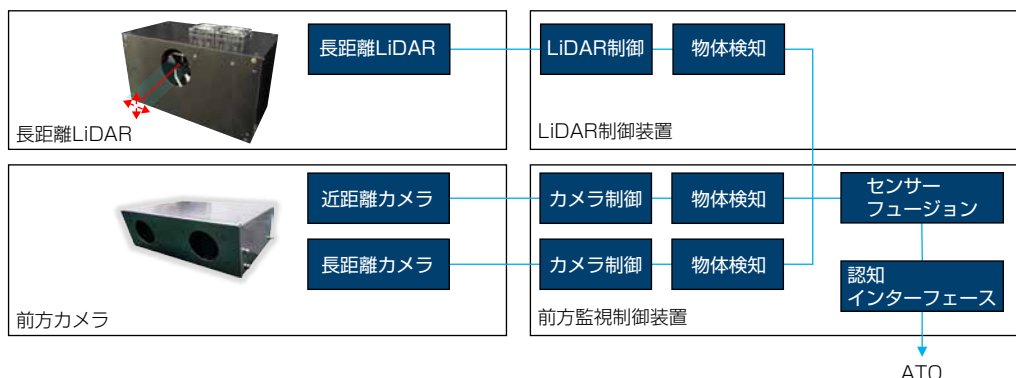


図1-システム構成

2.2 長距離LiDAR⁽¹⁾

この装置は、ガルバノスキャナーによってレーザー光を走査することで、検知範囲及び対象物のサイズに応じて水平・垂直の視野角を柔軟に調整できる。走査軌跡はラスタースキャンや正葉曲線など複数方式に切替え可能であり、これによって単位面積当たりの点群密度を向上させることで、遠距離でも高精度な検出を実現するLiDARシステムである(図2)。



図2-長距離LiDAR

2.2.1 ラスタースキャン

ラスタースキャンは、レーザー光を水平方向にライン走査し、垂直方向を一定ステップで移動させて視野を格子状に覆う走査法である。照射角のサンプリング間隔はほぼ一定であるが、面単位当たりの点群密度は距離に応じて減少する。図3のサンプルでは、フレームレートは2fps(frames per second)、600m先での点間距離(空間分解能)は水平方向で約35cm、垂直方向で約50cmになっている。この方式は、鉄道車両等の移動体に搭載して走査を行う用途だけでなく、沿線の定点監視のような固定設置型観測にも適している。

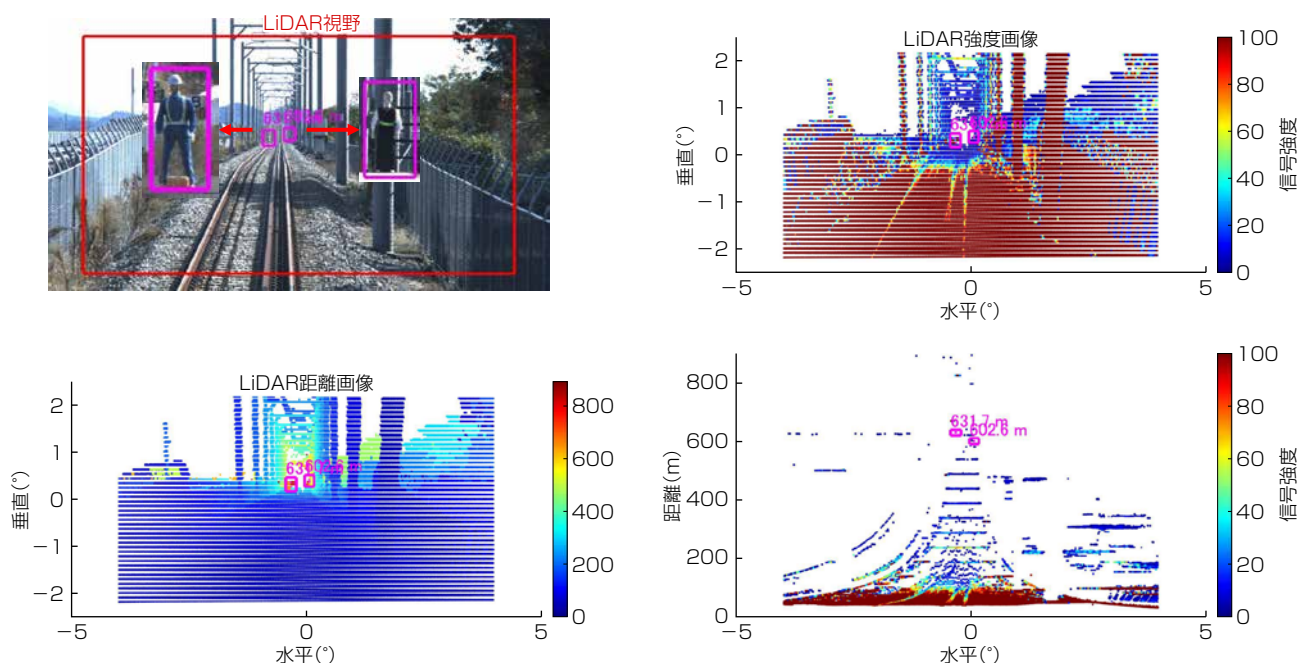


図3-ラスタースキャン

2.2.2 正葉曲線スキャン

正葉曲線スキャンは、水平・垂直の二軸をそれぞれ異なる周波数で連続駆動し、レーザー光が正葉曲線状の軌跡を描いて視野を覆う走査法である。図4のサンプルでは、軌跡設計によって必ず中心点を通過させることで中心領域の検出性能

を向上させており、視野中心の10%相当領域では実効観測頻度が10fps以上に達する。これによって、600m先での空間分解能は50cm以下になっている。この方式は、中心領域の検出性能の点で、鉄道車両等の移動体に搭載して走査を行う用途に特に適している。

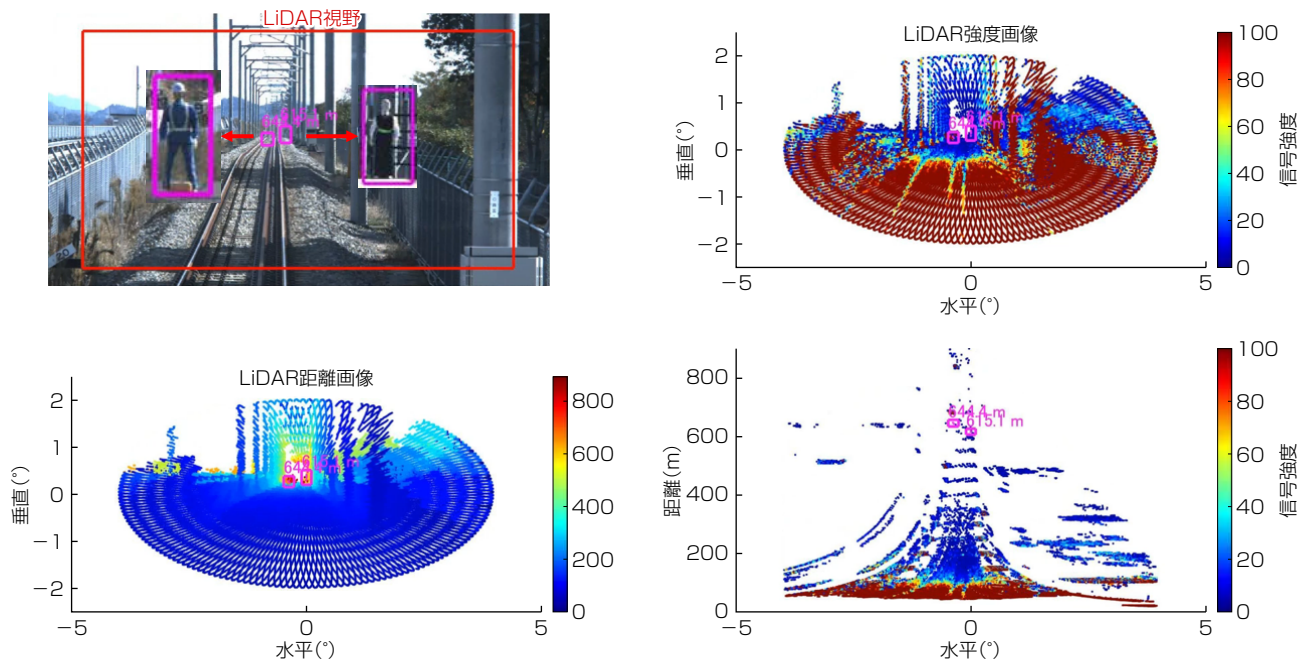


図4-正葉曲線スキャン

3. 可視カメラシステム

可視カメラシステムは2台のカメラを用いる。両者をステレオ構成とはせず、近距離用と長距離用の異なるレンズを組み合わせることで、奥行き方向にわたって広範囲かつ高精細に物体検出が可能な構成としている(図5)。検出結果は、広範囲をカバーする近距離カメラの検出を基軸として、長距離カメラの検出をフュージョンして統合する(図6)。日中はおおむね300mまで、夜間は前照灯の光が届く範囲である約100mまで、検出が可能である。

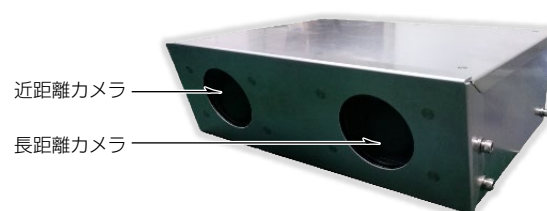


図5-可視カメラシステム



図6-可視カメラのフュージョン結果

4. 物体検出方式

可視カメラによる物体検出は、カメラ映像から線路領域をセグメンテーションで抽出、その線路領域を基に画像上で建築限界の内外領域(図7)を設定し、建築限界外にある物体だけを検出する。

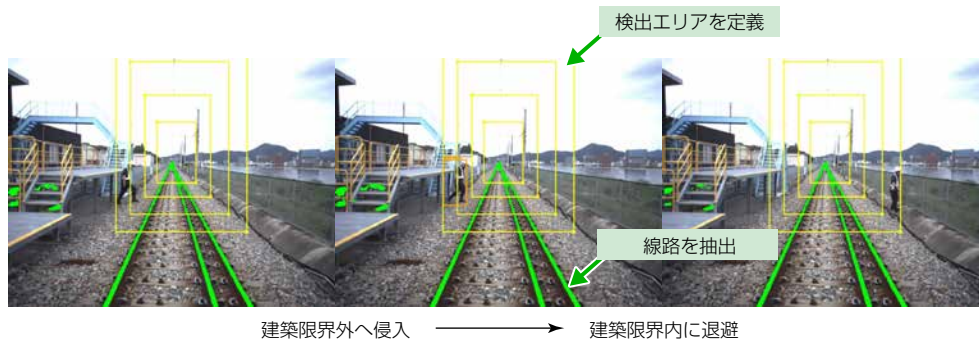


図7-物体検出AI(可視カメラ)

長距離LiDARによる物体検出は、点群をグラフ構造に変換することで点間の距離・角度・相対位置などの関係を明示的に表現し、グラフニューラルネットワーク(GNN)を活用して点群から物体を識別する独自の物体検出AIを開発した(図8)。物体の種類や多角度からの形状変化を学習させることで、点群だけでは識別が難しい人・車・自転車等を高速かつ高精度に分類できる。

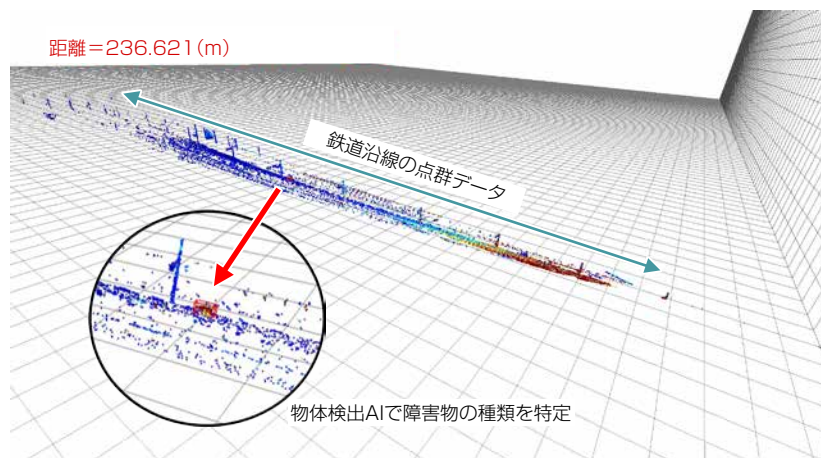


図8-物体検出AI(長距離LiDAR)

5. む す び

今回開発した前方監視システムの技術は遠距離での高精度検出を特長として、高速道路での障害物検知など多様な用途への適用拡大が期待される。この技術の普及によって、鉄道車両の自動運転化の促進や、鉄道沿線・高速道路での安全確認作業の効率化に貢献していく。

参考文献

- (1) 最大検知距離900mに対応した多用途向け長距離LiDAR, 三菱電機技報, 100, No.2, 2-1-01 (2026)